



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



ALEX SANDER LYRA

**MODELAGEM MATEMÁTICA PARA OTIMIZAÇÃO DA COLETA E
DISTRIBUIÇÃO DE DEJETOS EM BIODIGESTOR CENTRAL**

BOTUCATU

2021

ALEX SANDER LYRA

**MODELAGEM MATEMÁTICA PARA OTIMIZAÇÃO DA COLETA E
DISTRIBUIÇÃO DE DEJETOS EM BIODIGESTOR CENTRAL**

Dissertação apresentada a Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na agricultura).

Orientador(a): Prof. Dr. Sergio Augusto Rodrigues
Coorientador(a): Profa. Dra. Helenice de O. Florentino

BOTUCATU

2021

L992m	<p>Lyra, Alex Sander</p> <p>Modelagem matemática para a otimização da coleta e distribuição de dejetos em biodigestor central / Alex Sander</p> <p>Lyra. -- Botucatu, 2021</p> <p>86 p. : tabs.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu</p> <p>Orientadora: Sergio Augusto Rodrigues</p> <p>Coorientadora: Helenice de Oliveira Florentino Silva</p> <p>1. Otimização matemática. 2. Biodigestor compartilhado. 3. Roteirização. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MODELAGEM MATEMÁTICA PARA OTIMIZAÇÃO DA COLETA E DISTRIBUIÇÃO DE DEJETOS EM UM BIODIGESTOR CENTRAL

AUTOR: ALEX SANDER LYRA

ORIENTADOR: SERGIO AUGUSTO RODRIGUES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO RODRIGUES (Participação Virtual)
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Prof. Dr. PAULO ANDRÉ DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Agronegócio / Faculdade de Tecnologia de Botucatu

Ass. p/

Prof. Dr. RICARDO GHANTOUS CERVI (Participação Virtual)
Engenharia de Produção / UNESP - Campus Experimental de Itapeva

Ass. p/

Botucatu, 20 de agosto de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida e por aqueles que acreditaram que apesar dos desafios consegui chegar até aqui.

Agradeço minha esposa e meus filhos por dividir e entender que o tempo de dedicação nos estudos sempre fortalece a nossa jornada, minha querida mãe Maria e Lourdes Lyra e minhas irmãs Silvia Fabiana e Lais Cristina, por acreditarem sempre na minha capacidade.

Em especial agradeço a meu amigo Professor Dr. Paulo André de Oliveira que sempre esteja na minha jornada do conhecimento através do direcionamento, entendimento e principalmente apoiando nas decisões, sempre também me motivando e mostrando que o aprendizado deve ser uma busca constante para o desenvolvimento.

Também agradeço meu orientador Professor Dr. Sergio Augusto Rodrigues, pela paciência, o tempo dedicado no atendimento e sempre me apoiando e incentivando para nunca desistir.

RESUMO

A logística cada vez mais se mostra como essencial para o desenvolvimento de organizações dos mais variados setores, em especial, ao agronegócio, onde vem se apresentando como fundamental na disponibilização de novas alternativas para auxiliar a tomada de decisão, principalmente, no que se refere a possibilidade de métodos que permitem a otimização de recursos. Neste sentido, procurou-se estabelecer, em um espaço geográfico, o melhor posicionamento para a implementação de um biodigestor central capaz de atender a demanda de tratamento de dejetos suínos gerados em diversas propriedades rurais, minimizando a distância e custo para coleta e deposição dos mesmos. Para isso, adotou-se os métodos de centro de gravidade e localização de facilidades, mais especificamente o método *p-medianas*, para a definição da melhor localização para sua implementação. Também realizou-se o roteamento da coleta dos dejetos nas propriedades e distribuição no biodigestor compartilhado, utilizando o método de varredura e o método PRV baseado na heurística do vizinho mais próximo. Considerando as distâncias totais percorridas, observou-se que a melhor posição geográfica para o biodigestor foi obtida com a utilização do método *p-medianas*. A roteirização utilizando o método PRV baseado na heurística do vizinho mais próximo, partindo de um biodigestor localizado pelo centro de gravidade, apresentou a melhor resposta considerando a minimização do tempo total das rotas a serem percorridas pelo veículo para realizar as coletas e distribuição dos dejetos, resultando no menor tempo total, ou seja, de 64,62 horas. Já a aplicação do método de roteirização PRV com a heurística do vizinho mais próximo partindo de um biodigestor instalado em uma propriedade localizada pelo método *p-medianas* apresentou um tempo total para percorrer todas as rotas de 64,92 horas.

Palavras-chave: Posição geográfica, roteirização, Métodos otimização

ABSTRACT

Logistics increasingly proves to be essential for the development of organizations from the most varied sectors, in particular, agribusiness, where it has been presented as fundamental in providing new alternatives to assist decision-making, especially with regard to possibility of methods that allow the optimization of resources. In this sense, an attempt was made to establish, in a geographical space, the best position for the implementation of a central biodigester capable of meeting the demand for the treatment of swine manure generated in various rural properties, minimizing the distance and cost of collecting and deposition them. For this, we adopted the methods of center of gravity and location of facilities, more specifically the p-median method, to define the best location for its implementation. The routing of the waste collection in the properties and distribution in the shared biodigester was also carried out, using the scanning method and the PRV method based on the nearest neighbor heuristic. Considering the total distances covered, it was observed that the best geographic position for the biodigester was obtained using the p-medians method. The routing using the PRV method based on the nearest neighbor heuristic, starting from a biodigester located by the center of gravity, presented the best response considering the minimization of the total time of the routes to be taken by the vehicle to carry out the collection and distribution of the waste, resulting in the shortest total time, that is, 64.62 hours. The application of the PRV routing method with the nearest neighbor heuristic starting from a biodigester installed in a property located by the p-median method presented a total time to traverse all routes of 64.92 hours

Keywords: Geographic position, routing, optimization methods

Lista de Ilustrações

Capítulo 1

Figura 1: Triângulo esférico	27
Figura 2: Arco de comprimento a	27
Figura 3: Região Toledo Paraná - Produtores (Suinocultura)	35
Figura 4: Posicionamento do Centro de Gravidade Região de Toledo Paraná - Produtores (Suinocultura)	36
Figura 5: Posicionamento da localização de nó central pelo centro de gravidade Região de Toledo Paraná - Produtores (Suinocultura).	37
Figura 6: Fórmula de <i>haversine</i> em planilha eletrônica	38
Figura 7: Posicionamento do Centro utilizando método $p_mediana$ somente com as distâncias de <i>haversine</i> (Cenário 1) de Toledo Paraná - Produtores (Suinocultura).	40
Figura 8: Posicionamento do Centro utilizando método $p_mediana$ com a distância de <i>haversine</i> e as demandas (Cenário 2) de Toledo Paraná - Produtores (Suinocultura)	41
Figura 9: Posicionamento do Centro utilizando método $p_mediana$ com a distância, o custo do transporte e as demandas (Cenário 3) de Toledo Paraná - Produtores (Suinocultura).....	42

Capítulo 2

Figura 1: Exemplo Método Varredura	58
Figura 2: Mapa de roteirização da operação de rota 1.....	63
Figura 3: Mapa de todas as Rotas, utilizando método Varredura	64
Figura 4: Mapa de todas as Rotas, utilizando método PRV Vizinho mais próximo partindo do centro de gravidade	66
Figura 5: : Mapa de todas as Rotas, utilizando método PRV Vizinho mais próximo partindo da localização de nó central pelo centro de gravidade	68
Figura 6: Mapa de todas as Rotas, utilizando método PRV Vizinho mais próximo partindo do ponto $p_mediana$ ponderado pelas distancias	70
Figura 7: Mapa de todas as Rotas, utilizando método PRV Vizinho mais próximo partindo do ponto $p_mediana$ ponderado pelas distancias e demanda	71
Figura 8: Mapa de todas as Rotas, utilizando método PRV Vizinho mais próximo partindo do ponto $p_mediana$ ponderado pelas distancias, demandas e custos ..	72

Lista de Tabelas

Capítulo 1

Tabela 1: Matriz de transporte: distância entre os produtores em km (apenas 10)..	39
Tabela 2: Somatória das distâncias entre os produtores	42
Tabela 3: Volume demandado (V_i) e distâncias (d_i) entre o local de instalação de uma central biodigestora compartilhada e as 25% das propriedades mais próximas.....	43

Capítulo 2

Tabela 1: Operação para criação de Rotas (Não atendendo as restrições).	62
Tabela 2: Operações para criação da Rota 1 - Método de Varredura	63
Tabela 3: Resumo das roteirizações com aplicação do método Varredura, partindo do ponto de centro de gravidade	65
Tabela 4: Resumo das roteirizações com aplicação do método PRV, partindo do ponto de centro de gravidade	66
Tabela 5: Resumo das roteirizações com aplicação do método PRV, partindo da localização de nó central pelo centro de gravidade	67
Tabela 6: Resumo das roteirizações com aplicação do método PRV, partindo do ponto de $p_mediana$ ponderado pelas distâncias	69
Tabela 7: Resumo das roteirizações com aplicação do método PRV, partindo do ponto de $p_mediana$ ponderado pelas distâncias e demanda	70
Tabela 8: Resumo das roteirizações com aplicação do método PRV, partindo do ponto de $p_mediana$ ponderada pelas distâncias e demanda e custo	72
Tabela 9: Resumo dos resultados da roteirização, considerando as diferentes localizações geográficas para o biodigestor compartilhado	73

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
CAPÍTULO 1 - UTILIZAÇÃO DE MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES NA ESCOLHA DO LOCAL PARA INSTAÇÃO DE UMA CENTRAL BIODIGESTORA COMPARTILHADA	20
RESUMO	18
1 INTRODUÇÃO	22
2 MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1 Material	25
2.2 Métodos	26
2.2.1 Fórmula de <i>Haversine</i>	26
2.2.2 Método de Centro de Gravidade	29
2.2.2.1 Localização do Centro de Gravidade	29
2.2.2.2 Localização de ponto central pelo centro de gravidade	30
2.2.3 Localização de Facilidades p-medianas	31
3 RESULTADOS	35
3.1 Modelo de Centro de gravidade	35
3.2 Localização de ponto central pelo centro de gravidade	36
3.3 Localização de Facilidades p-medianas	38
4 CONCLUSÕES	44
5 REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 1	45
CAPÍTULO 2 - MÉTODOS DE ROTEIRIZAÇÃO PARA COLETA DE DEJETOS EM PROPRIEDADES RURAIS	50
1 INTRODUÇÃO	52
2 MATERIAL E MÉTODOS	55
2.1 Material	55
2.2 Método	55
2.3 Método varredura	57
2.4 Problema de roteirização de veículo (PRV)	58
2.5 Heurística do Vizinho mais próximo (VMP)	60
3 RESULTADOS	61
3.1 Método Varredura	61
3.2 Problema de roteirização de veículos pela Heurística do vizinho mais próximo	65
4 CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 2	75
CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL	79
APÊNDICE A - Matriz das distâncias de <i>haversine</i>	80
APÊNDICE B - Posição geográfica dos produtores, região Toledo PR	86
APÊNDICE C - Criação das rotas, método Varredura	87

INTRODUÇÃO GERAL

Dentre os diversos resíduos urbanos ou rurais possíveis de serem utilizados como matéria-prima rica para a geração de energia, destacam-se os dejetos de animais gerados em grande quantidade no Brasil e com potencial para serem transformados em biogás, energia limpa e biofertilizantes por meio de diversas reações químicas em biodigestores. Muitos estudos discutem sobre a viabilidade de implantação de unidades biodigestoras visando o reaproveitamento desses dejetos das atividades produtivas gerados nas propriedades rurais, dentre esses estudos são destacados que a produção do biogás por meio de biodigestão anaeróbica representa um avanço para equacionar os volumes de dejetos para a reutilização de forma eficiente para o meio rural, também são destacados a viabilidade de implantação de um sistema de coleta (CERVI, 2009; PEREIRA, 2009).

No entanto, os custos de implantação e a logística de coleta são alguns dos fatores que dificultam sua utilização entre pequenos produtores rurais, demandando maiores investigações.

Na suinocultura, um problema que deve ser levado em consideração é o grande volume de dejetos produzidos na atividade que possui um potencial elevado de contaminantes, bem como seu descarte, o que, se realizado de forma inapropriada, pode acarretar impactos ambientais negativos, os quais devem ser minimizados. Assim, o lançamento indiscriminado de dejetos não tratados em rios, lagos e no solo podem provocar doenças (verminoses, alergias, hepatites); trazer desconforto à população, a degradação do ar (proliferação de insetos e mau cheiro) e, ainda, provocar impactos ao meio ambiente (redução da fauna local por morte de animais, toxicidade em plantas e eutrofização dos cursos d'água). Dessa forma, o descarte e disposição de resíduos da suinocultura representam um risco à sustentabilidade e expansão desta prática como atividade econômica, desta maneira os resíduos gerados na suinocultura apresentam uma externalidade negativa, pois é uma atividade econômica que pode causar efeitos negativos ao meio ambiente (CERVI, 2009; BLEY JUNIOR, 1997).

Assim, é importante a adoção de boas práticas e técnicas de tratamento de efluentes na produção animal e estudos para viabilização da implantação de

biodigestores comunitários pode equilibrar a relação custo-benefício, principalmente na etapa inicial.

Reis (2012) destaca que os biodigestores, como todas as fontes de geração de energia, possuem também vantagens e desvantagens decorrentes do seu aproveitamento para a produção de energia elétrica.

Entre as vantagens do uso de biodigestores para produção de biogás, pode-se destacar: a substituição do gás liquefeito de petróleo (GLP), um derivado de petróleo importado, e de outros combustíveis fósseis; a comodidade e segurança para o consumidor inerentes a possibilidade de ter gás canalizado; a não necessidade de sua purificação ou filtragem sendo muito importante tanto para aumentar o poder calórico do biogás como retirar o odor, removendo-se apenas os líquidos condensados ao longo das vias de captação e distribuição; e a observação de que o uso do biogás em cozinhas domésticas tem se mostrado eficaz e satisfatório, pois a chama é bastante limpa e não deixa resíduos de fuligem nas panelas, no entanto destaca Araújo, 2013 que o H_2S (sulfeto de hidrogênio), normalmente é procedente de remoção química e/ou lavagens de gases ácidos de sistema de tratamento de efluentes, fermentação, decapagens ácidas, desta forma o H_2S é um gás tóxico, mais denso que o ar, com um cheiro desagradável.

Já entre as desvantagens de se utilizar energia oriunda da produção de biogás, destacam-se: a quantidade de energia gerada pelo biogás não é constante, isso devido as estações do ano que viram ao longo do período de produção (sazonalidade e temperatura são fatores intrínsecos à produção) e o alto período de recuperação do investimento.

Neste sentido, Pereira et al. (2009) estudaram a viabilidade de construção de um único biodigestor central de uso coletivo pelos produtores rurais, possibilitando a diluição de custos de implantação de biodigestores individuais e potencializando os resultados. Para isso, informações de 380 propriedades da região de Toledo/PR com criação de suínos foram coletadas, entre os quais, dados a respeito dos custos operacionais, localização geográfica (latitude / longitude) e volume de dejetos possíveis de serem captados.

Para auxiliar os processos de tomada de decisão sobre construção de uma unidade biodigestora, sua localização e o roteamento de veículos transportadores de dejetos, destacam-se os modelos matemáticos de otimização que têm como finalidade buscar soluções para problemas das atividades de logísticas, tais como: melhor

posicionamento geográfico e melhoramento em rotas (roteirização), os quais são menos frequentes.

Em suma, uma vez que os modelos matemáticos possibilitam simular e otimizar processos envolvendo diversos cenários, bem como avaliar ocorrências antes da implantação do sistema em avaliação e aumentar a eficiência das operações logísticas. Desta forma são importantes ferramentas para auxiliar na tomada de decisão de políticas públicas de incentivo ao uso de energia limpa junto aos pequenos produtores, para o estudo e análise de operações logísticas relacionadas à construção de uma unidade biodigestor central.

Os assuntos tratados neste trabalho estão organizados em dois capítulos.

No capítulo 1 são abordados os conceitos e aplicação de dois métodos de localização: o método de centro de gravidade e o método de localização de facilidades (p-medianas). A utilização e aplicação destes métodos tem como objetivo definir, dentro de um espaço geográfico, a melhor localização para criar um centro biodigestor a ser compartilhado por diversas propriedades rurais. Os resultados dos métodos aplicados em um conjunto de dados de propriedades rurais produtoras de suínos foram comparados.

No capítulo 2 são abordados os conceitos e a aplicação da roteirização para a coleta dos dejetos em propriedades rurais produtoras de suínos, destacando o método de varredura e o método do Problema de Roteirização Veicular (PRV), adotando a heurística do vizinho mais próximo.

CAPÍTULO 1 - UTILIZAÇÃO DE MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES NA ESCOLHA DO LOCAL PARA INSTAÇÃO DE UMA CENTRAL BIODIGESTORA COMPARTILHADA

RESUMO

A logística cada vez mais se mostra como essencial para o desenvolvimento de organizações dos mais variados setores, especialmente para o agronegócio, no qual os produtores rurais preocupam-se com a minimização dos custos relacionados aos diversos processos existentes nas propriedades. Dentre estes, os processos logísticos têm sido alvos destas preocupações, pois envolvem custos econômicos e ambientais, devido ao alto consumo de combustível. Neste contexto, este artigo visa a investigação da melhor localização para implantação de uma central de biodigestão compartilhada, de forma a minimizar as distâncias a serem percorridas pelos veículos que buscarão os resíduos orgânicos em diferentes localidades, visando o abastecimento dos biodigestores para produção de biogás. A metodologia proposta para esta abordagem consiste na aplicação de dois métodos, o método de centro de gravidades e o de localização de facilidade (*p-medianas*). Foram utilizados dados de coordenadas geográficas (Latitude e Longitude) e de distâncias entre os produtores rurais considerados. Tal técnica foi aplicada para investigar um local para instalação de uma central de biodigestão compartilhada com os produtores rurais da área de suinocultura na região de Toledo-PR, possibilitando identificar a melhor posição para instalação da unidade biodigestora, apresentando uma distância total entre a mesma e as propriedades de 1137,02 km. Os resultados evidenciaram que esta metodologia facilita o processo de coleta e destinação de dejetos gerados nas propriedades, fazendo com que os produtores minimizem os custos de transporte e a distância total percorrida, ao mesmo tempo que atende toda a demanda.

Palavras-chave: Centro de Gravidade, *p-medianas*, posição geográfica

CHAPTER 1 - USING FACILITIES LOCATION MODELS TO CHOOSE A PLACE TO BUILD A SHARED BIODIGESTER CENTER

ABSTRACT

Logistics is increasingly becoming essential for the development of organizations in several sectors, especially for agribusiness, in which rural producers are concerned with minimizing costs related to the many processes that exist on their properties. Among these, the logistics processes have been target of these concerns, because they involve economic and environmental costs, due to the high consumption of fuel lately. In this context, this article aims to investigate the best location for the implementation of a shared biodigestion center, in order to minimize the distances to be covered by the vehicles that will pick up the organic waste in different locations, aiming to supply the biodigesters for biogas production. The methodology proposed for this approach consists of the application of two methods, the center of gravity method and the facility location method (p-medians). Geographic coordinates data (Latitude and Longitude) and distances between the considered farmers were used. This technique was applied to investigate a location for the installation of a shared biodigestion plant with the rural producers of the swine farming area in Toledo-PR region, making it possible to identify the best position for the installation of the biodigester unit, presenting a total distance between it and the properties of 1137.02 km. The results showed that this methodology facilitates the process of collection and disposal of waste generated on the properties, making it possible for producers to minimize transportation costs and the total distance traveled, while meeting all the requirements at the same time.

Keywords: Center of Gravity, p_median, geographic position

1. INTRODUÇÃO

No que tange ao desenvolvimento sustentável, no setor de produção animal busca-se aumentar a eficiência de produção e redução de perdas e riscos por meio de tecnologias limpas, como tratamento microbiológico de resíduos orgânicos, podendo ser utilizado, neste sentido, em biodigestores com cogeração de biogás. O uso de biodigestores na promoção da sustentabilidade possui papéis de recuperação e preservação ambientais, o que acarreta melhorias na qualidade de vida das comunidades (populações humana, animal, vegetal e microbiota) que habitam o entorno de fazendas produtoras de resíduos e aumento da eficiência de geração de energia renovável (PERUZATTO, 2009; TEIXEIRA et al., 2019). Em fazendas colombianas de pequena escala, Pérez et al. (2014) observaram que a implementação de digestores reduziu consideravelmente (em até 80%) os impactos ambientais potenciais associados ao manuseio de esterco, combustível e uso de fertilizantes, devido principalmente à redução do uso de GLP e fertilizantes sintéticos, que foram substituídos por biogás e digerido.

Em um sistema de gestão de resíduos sólidos municipais, Yadav et al. (2017) destacaram que os tomadores de decisão devem desenvolver uma visão dos processos, ou seja, métodos de geração, coleta, transporte, processamento e descarte de resíduos. Do mesmo modo, é necessário promover a interação entre produtor rural e unidades biodigestoras e, para isto, torna-se importante estudos de modelos de localização de facilidades e sistemas de roteirização de veículos transportadores de resíduos suínicos, bem como a determinação de quais e quantas localidades ou centros de tratamento de dejetos devem ser instalados.

A distribuição física de produtos e insumos em uma cadeia de suprimentos se torna um desafio para a logística, com a localização das instalações de armazenagem, centro de distribuição ou local compartilhado vista como essencial para o sucesso do planejamento estratégico. Destaca Balou (2001), que esta etapa tem como principal objetivo minimizar as distancias percorridas por veículos, estabelecendo locais de distribuição centralizados em uma determinada região ou a criação de vários centros, pontos esses conhecidos na logística como centro de distribuição (CD).

A modelagem matemática permite, neste sentido, determinar de forma otimizada o melhor ponto para a criação de um ou mais CDs, levando em consideração, para determinar a melhor localização, as possíveis rotas dentro de um

mapeamento geográfico da região, desta forma a modelagem matemática permite, neste sentido, determinar de forma otimizada o melhor ponto para a criação de um ou mais pontos, levando em consideração, para determinar a melhor localização, as possíveis rotas dentro de um mapeamento geográfico da região, Oliveira (2020) destaca a importância da modelagem matemática para o atendimento médico dentro de um espaço geográfico, facilitando o deslocamento de veículos partindo de pontos estratégicos para esse atendimento.

Destaca Ballou (2001) que para a determinação de um local deve-se analisar algumas características tais como: o mercado a ser atendido, as demandas e os pontos geográficos a serem atendidos. Neste estudo destacam-se as propriedades, a rede de transporte e os custos fixos e variáveis e a utilização de métodos exatos que garantam uma solução matemática mais precisa.

Também dentre esses modelos destacam-se os modelos de escolha discreta, nos quais é considerado um número finito de propriedades ou pontos a serem atendidos, selecionando os pontos de localização ótima, respeitando também os custos pré-definidos e suas respectivas demandas. Esta é a situação desse estudo, no qual já é estabelecido os custos das operações e são apontadas as demandas pelos produtores (TANNIGUCHI,2001).

Destacam-se na literatura muitos estudos utilizando modelos para localização de pontos ótimos para distribuição ou facilidades de acesso, entre eles, os aplicados ao setor de logística de diversas empresas. Oi et al (2017) utilizaram o método do centro de gravidade para localização do centro de distribuição de uma empresa de medicamentos e materiais hospitalares. Selecionando clientes e fornecedores, onde são os responsáveis pelos maiores movimentos financeiros da organização.

Dentro das características de localização de instalações é importante a adoção de ferramentas que auxiliam as decisões a serem tomadas quanto ao espaço geográfico, exemplo disso é o SIG (Sistema de Informações Geográficas) que apresentam uma base de dados que permite aos usuários transformar esses dados espaciais em informações que se tornam relevantes uma vez que essa integração é a ligação que se faz entre dados não espaciais ou dados de atributos a dados espaciais ou geográficos (LIMA,2003, OI et al., 2017).

O centro de gravidade é definido pelas coordenadas geográficas de um local central entre diferentes pontos/localizações, considerando a minimização do custo de

transporte para sua instalação, observando as ofertas e demandas de cada localização que irá utilizar esse centro (MARTINS; LAUGENI, 2015; OI et al., 2017).

Esse método foi utilizado no estudo para identificação dos locais apropriados para instalação de um centro de distribuição de uma empresa de componentes pneumáticos e de distribuição de água mineral, minimizando a distância entre os locais de origem e de demanda. Para isso, os respectivos sistemas de distribuição foram avaliados, considerando os custos logísticos, demanda futura e outros fatores, juntamente com os métodos de ponderação de fatores, volume de carga, distância e além do método matricial de economia como técnica de roteirização (LEAL et al., 2012; BORELLA e SILVA, 2019).

Observa-se na literatura estudos aplicando ao método centro de gravidade em diversas situações, entre elas estudo visando a alocação de clientes para abertura de fábricas, a alocação de creches em um contexto urbano e consequente alocação de demanda para crianças de 0 a 3 anos, procedimento para localização e a alocação de vagas de carga e descarga em centros urbanos, localização e alocação de Organização Militar a postos de polícia rodoviária no Brasil, considerando as características operacionais, na gestão de resíduos sólidos para abertura de centros de coleta de resíduo, centro de triagem, aterros sanitários e incineradoras, determinação de localização de um centro de distribuição para uma distribuidora de medicamentos e material hospitalar e estudo de melhor localização para um centro de distribuição (CD) de uma empresa de hortifrúti (MAPA, 2007, OLIVEIRA, 2012, LOUREIRO et al, 2012, CAMARA, 2016, FERRI et al., 2017, OI et al., 2017, RODRIGUES et al., 2018).

Outro método que é utilizado para encontrar a melhor posição geográfica dentro de uma região refere-se ao método de localização de instalações. É importante, na execução deste método, entender as possíveis restrições que possam apresentar tais como: tempo de percurso do veículo, distância entre os pontos de coleta ou entrega, capacidade veicular, entre outros.

Os problemas de localização de facilidades analisam as decisões, sobre onde devem ser localizadas facilidades, considerando os clientes que podem ser atendidos de forma otimizada adotando alguns critérios como por exemplo a distância entre a facilidade e o cliente, onde neste método procura-se minimizar as distâncias percorridas dos locais de demanda à origem, sendo fundamental a busca por medidas de distâncias precisas, muitas incertezas de parâmetros precisam ser modeladas sob

uma situação de escassez de dados para gerar função de distribuição de probabilidade ou função de pertinência para programação matemática estocástica (Oliveira et. al. 2015, YADAV et al.. 2017).

Ribeiro Júnior *et al.* (2013), relata que para obtenção das distâncias entre os produtores rurais a distância euclidiana e a fórmula de *haversine*, que visa fornecer as distâncias entre os pontos geográficos baseados na latitude e longitude, gerando assim as matrizes de distâncias. Tanto o cálculo das distâncias euclidianas, usado no método de centro de gravidade, quanto das distâncias de *haversine* são opções para situações em que não há informações das distâncias reais entre os pontos.

Na literatura recente observa-se a utilização da fórmula de *haversine* na construção de um aplicativo de localização de lugares por GPS para Iphone (TESSARI, 2010), no desenvolvimento de sistema de rastreamento de veículo para empresa de transporte considerando navegação por satélite (ASSIS, 2010), no desenvolvimento de um sistema de navegação global para veículo agrícola autônomo (SANCHES, 2012), e na pesquisa de rota de evacuação do tsunami na indonésia com o objetivo de criação de um sistema de busca por abrigo mais próximo (ANISYA, 2017).

Assim, o objetivo deste trabalho foi aplicar os métodos centro de gravidade e o de facilidades para estabelecer o melhor local para instalação de um único biodigestor compartilhado com os produtores rurais da área de suinocultura na região de Toledo-PR.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Para a modelagem matemática visando localizar a melhor posição de uma central de biodigestão compartilhado foram utilizados os dados de 380 produtores da região de Toledo/ PR, sobre o posicionamento geográfico (latitude e longitude), a produção aproximada total de dejetos 45.462 toneladas/mês obtidos junto ao levantamento realizado por Pereira (2009). No entanto, para simplificação dos testes realizados na aplicação dos modelos de centro de gravidade e localização de facilidades, foi utilizada apenas uma amostra 79 produtores sorteados aleatoriamente

do total de produtores disponíveis, que somados produzem aproximadamente 24.456 toneladas/mês de dejetos.

2.2 Métodos

Os modelos de otimização utilizados foram: o método centro de gravidade, localização de nó central pelo centro de gravidade, e o método de localização de facilidades de p -medianas (HAKMI, 1964 e 1965; CHRISTOFIDES, 1975), com diferentes cenários de ponderação para minimização.

Para utilização dos métodos centro de gravidade e localização de nó central pelo centro de gravidade, a obtenção da matriz de distâncias foi baseada nas coordenadas geográficas, a partir das quais calculou-se as distâncias euclidianas. Já para o método de facilidades utilizou-se das distâncias de *haversine*.

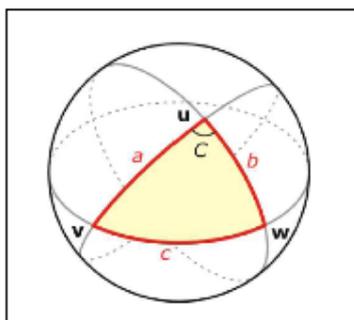
Em todas as situações foram utilizados métodos computacionais interligando o ambiente computacional *R Development Core Team* (R CORE TEAM, 2020) e planilhas eletrônicas, juntamente com ferramentas do Google Maps.

2.2.1 Fórmula de *Haversine*

Uma alternativa para obtenção das distâncias entre os pontos (produtores rurais) é a utilização da fórmula de *haversine*, a qual possibilita encontrar de forma simples a distância entre coordenadas geográficas considerando a curvatura da Terra (SINNOTT, 1984).

Sanches (2012) afirma que uma esfera de raio unitário, um triângulo esférico na superfície da esfera formado pelos pontos u , v e w , é definido por grandes círculos, ou seja, círculos que dividem a esfera em dois hemisférios conforme mostrado na Figura 1.

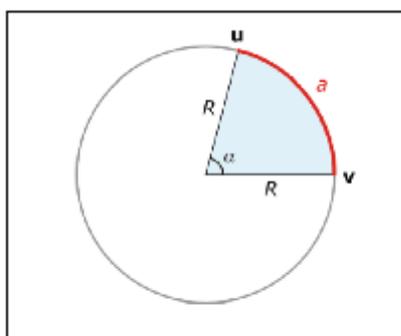
Tessari (2010) aborda que para calcular distâncias em métodos de navegação, utiliza-se a fórmula básica de trigonometria. A fórmula de *haversine* calcula a distância entre dois pontos através das coordenadas (latitude e longitude). No entanto, ignora altitudes, levando em consideração a circunferência da Terra.

Figura 1: Triângulo esférico**Fonte:** Sanches, 2012

Na Figura 1, se o comprimento dos três lados são a (de u até v), b (de u até w) e c (de v até w), e o ângulo oposto ao arco c é C , segundo Sanches (2012) a lei de *haversine* é definida pela função abaixo:

$$\text{haversin}(c) = \text{haversin}(a - b) + \text{sen}(a) \text{sen}(b) \text{haversin}(c) \quad (1)$$

Destaca Campos (2017) que a fórmula de *haversine* deriva da lei dos *haversines*, a partir de um “triângulo” na superfície de uma esfera representada pelos pontos u , v e w (Figura 1), sendo o comprimento, u até w seja igual a b e de w até v seja c , e que o ângulo oposto a c seja C . Seja u o polo norte, enquanto v e w as coordenadas que desejamos saber a distância, a e b valem $\pi/2 - \Phi$, c a diferença entre as λ ($\Delta\lambda$) e c e d/r , como sendo $(\pi/2 - \Phi) = \cos(\Phi)$, então a fórmula de *haversine* é determinada, aplicando para o valor do r 6371 quilômetros (corresponde à média do raio da Terra).

Figura 2 - Arco de comprimento a .**Fonte:** Sanches, 2012

Na Figura 2 a prova pode ser obtida utilizando a equação de arco de circunferência.

$$a = \alpha R \quad (2)$$

Considerando $R = 1$, então

$$a = \alpha \quad (3)$$

Para se obter a fórmula de *haversine*, algumas considerações devem ser feitas:

- u e considerado o ponto correspondente o polo norte da Terra (latitude 90°),
- v e w são dois pontos cuja distância d será determinada,
- C e a diferença de longitude que separa v e w ,
- c e o comprimento d/R desejado,
- R e o raio da Terra.

Desta forma, pode-se reescrever a Lei dos *haversines* mostrada na fórmula (1) da seguinte maneira:

$$\text{haversine } \frac{d}{R} = \text{haversine } (\phi_2 - \phi_1) + \text{sen} \left(\frac{\pi}{2} - \phi_1 \right) \text{sen} \left(\frac{\pi}{2} - \phi_2 \right) \text{haversine } (\lambda_2 - \lambda_1) \quad (4)$$

A fórmula *haversine* $\text{hav}(\theta)$, aplicada acima para ambos o ângulo central θ e a diferenças na latitude e longitude é:

$$\text{hav}(\theta) = \text{sen}^2 \left(\frac{\theta}{2} \right) \quad (5)$$

Renomeando

$$h = \text{haversine} \left(\frac{d}{R} \right) \quad (6)$$

A fórmula *haversine* calcula metade da versine do ângulo θ , resolvendo pela distância d , e aplicando o arc versine (*haversine* inverso) para $h = \text{hav}(\theta)$, ainda pode ser aplicado o uso da função arco seno (inverso do seno)

$$d = R \text{haversine}^{-1}(h) = 2 R \text{arcsen } \sqrt{h} \quad (7)$$

Desta maneira substituindo as equações (5), (6), (7) na equação (4) obtém-se a fórmula de *haversine*, mostrado aqui na equação (8)

$$d = 2R \arcsen \sqrt{\text{sen}^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \text{sen}^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \quad (8)$$

onde:

- d é a distância entre dois pontos na superfície da esfera, em quilômetros,
- R é o raio da esfera, em quilômetros,
- ϕ_1, ϕ_2 são a latitude do ponto 1 e a latitude do ponto 2 (em radianos),
- λ_2 e λ_1 são a longitude do ponto 1 e longitude do ponto 2 (em radianos).

2.2.2 Método de Centro de Gravidade

A distribuição e coleta física de produtos ou insumos dentro de uma operação deve ser garantida desde sua origem, neste caso os produtores, até o ponto de entrega, ou seja, o centro biodigestor compartilhado. O objetivo geral da distribuição física é atender uma demanda de produtos de uma determinada localidade, no momento oportuno e com o nível de serviço desejado, pelo menor custo possível (NOVAES, 2015).

Neste sentido o posicionamento do local que receberá produtos ou insumos para posteriormente para uma nova distribuição se torna estratégico e deve ser entendido como parte de um conjunto integrado, que visa promover um fluxo eficiente ao longo de todo o processo (LACERDA, 1999; RODRIGUES e PIZZOLATO, 2003).

2.2.2.1 Localização do Centro de Gravidade

O método de centro de gravidade foi utilizado para identificação da localização de uma central de biodigestão compartilhado para os produtores rurais da região de Toledo-PR, buscando minimizar o custo de transporte para sua instalação, observando a disponibilidade de dejetos e capacidades dos caminhões de coleta. Uma característica negativa desse método refere-se à posição geográfica da localização obtida, a qual pode indicar pontos geográficos que não possam ser

utilizados, como exemplo uma propriedade particular que não faz parte do interesse do negócio, ou ainda pontos como rios, rodovias, áreas de preservação, entre outros.

De forma geral, o método do centro de gravidade procura estimar as coordenadas do local de menor custo de transporte para a instalação da localização central, as quais são estimadas pelas coordenadas \bar{x} (*longitude*) e \bar{y} (*latitude*) conforme as equações 9 (MARTINS; LAUGENI, 2015):

$$\bar{x} = \frac{\sum V_i C_i x_i}{\sum V_i C_i} \text{ e } \bar{y} = \frac{\sum V_i C_i y_i}{\sum V_i C_i} \quad (9)$$

A equação 9 destaca V_i sendo o volume transportado para o ponto ou propriedade i ; C_i o custo associado à unidade de volume transportado para o local i ; x_i a coordenada da longitude do local i e y_i a coordenada da latitude do local i .

2.2.2.2 Localização de ponto central pelo centro de gravidade

A localização de nó central pelo centro de gravidade, é uma adaptação do método de centro de gravidade, onde a localização final escolhida é um dos pontos ou propriedades existentes no estudo, ou seja, utiliza-se das distâncias dos produtores existentes e um centro biodigestor localizado pelo centro de gravidade, buscando a minimização do custo total de transporte (TC), o qual é dado pela soma dos produtos entre o volume de carga transportada, o custo unitário de transporte e a distância de cada ponto ao centro de gravidade, conforme a equação 10 (BALLOU, 2006; OLIVEIRA et al, 2015; AQUINO, 2019).

$$\min TC = \sum_{i=1}^n V_i C_i d_i \quad (10)$$

sendo TC o custo total de transporte; V_i o volume de demanda no ponto i ; C_i o custo de transporte por unidade de volume do ponto i e d_i a distância do ponto i até a instalação a ser localizada.

Assim para localizar a melhor localização da instalação, utiliza-se das equações 11 e 12, sendo esta última, a equação para obtenção das distâncias euclidianas entre cada propriedade rural (x_i e y_i , com $i = 1, \dots, n$, sendo n o total de pontos do estudo) e o centro de gravidade dado pelas coordenadas \bar{x} e \bar{y} .

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i C_i x_i / d_i}{\sum_{i=1}^n V_i C_i / d_i} \quad \text{e} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i C_i y_i / d_i}{\sum_{i=1}^n V_i C_i / d_i} \quad (11)$$

$$d_i = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2}, \quad i=1, \dots, n \quad (12)$$

Destaca Ballou (2006) que a solução de problemas de localização única do centro de gravidade, considerando a posição de uma das localidades existentes, é baseada nas seguintes etapas:

1. A partir das coordenadas (latitude e longitude), x_i e y_i , dos volumes e os custos de transporte, obtém-se as coordenadas central inicial (\bar{x} , \bar{y}), a partir da fórmula do centro de gravidade, omitindo a distância d_i (equação 11).
2. Usar os valores encontrados das coordenadas iniciais (\bar{x} e \bar{y}) para calcular a distância d_i da equação 12.
3. Substituir d_i na equação 11 e encontrar as coordenadas revisadas \bar{x} e \bar{y}
4. Recalcular d_i a partir das coordenadas revisadas da etapa 3.
5. Repetir as etapas 2 e 3 até que as coordenadas \bar{x} e \bar{y} não mudem por sucessivas iterações.
6. E, finalizando calcular o custo total da melhor localização pela equação 10.

2.2.3 Localização de Facilidades *p*-medianas

Modelos de otimização discreta podem ser utilizados para resolver problemas de localização de facilidades (ARENALES *et al.*, 2011). Max (2012) destaca que o problema de localização de facilidades consiste em posicionar uma facilidade em uma região (latitude e longitude, por exemplo), de modo que fosse minimizada a soma de todas as distâncias entre a mesma e os pontos de demanda. Para um pequeno número de facilidades, determinar a solução ótima do problema exige pouco custo computacional. Ao passo que o número de facilidades e localidades aumentam, a complexidade computacional também aumenta, demandando recursos computacionais mais avançados. De fato, a partir do momento em que se necessita de localizar mais de uma facilidade, o problema passa a ser de localização e alocação. Assim, além de buscar a melhor distribuição, é preciso realizar a alocação de facilidades da melhor forma possível.

Arenales *et al.* (2011) destacam que a localização de facilidades é um aspecto crítico do planejamento estratégico de empresas privadas e públicas. Exemplos como

o setor público envolvem decisões de localização de centros de saúde, escolas e estações de bombeiros, enquanto no setor privado tem-se a localização de fábricas, armazéns e centros de distribuição de mercadorias. Em diversas situações, tais como em sistemas de distribuição, as decisões de localização de facilidades e designação de clientes as facilidades são feitas simultaneamente.

Os problemas de localização de facilidades são também conhecidos como problemas de localização-alocação e estão relacionados com a determinação da localização de uma facilidade que deverá servir a outros pontos que possuirão localizações fixas, de forma a otimizar um dado critério (ARAKAKI, 2006). Entre estes modelos, destaca-se o procedimento de *p*-medianas (HAKMI, 1964 e 1965; Christofides, 1975), no qual um número pré-especificado de facilidades precisa ser localizado de forma a minimizar a distância total ponderada (*D*) entre os pontos de uma área, como por exemplo, o propósito desse artigo onde tem-se as distâncias entre produtores rurais e o custo de transporte até uma facilidade, definida aqui como uma central de biodigestão compartilhado pelos produtores.

O problema de *p*-medianas para localização de facilidades é descrito pelo modelo matemático expresso pelas equações 13 a 17.

$$\min D = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} w_i d_{ij} x_{ij} \quad (13)$$

Sujeito a

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = p \quad (15)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj}; i, j \in N \quad (16)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}; i, j \in N \quad (17)$$

sendo que $N = \{1, \dots, n\}$: conjunto de pontos de demanda; $i \in N$ representa um determinado cliente ou vértice; $j \in N$ uma instalação em potencial ou mediana; p é o número de instalações de serviço ou medianas a serem localizadas; w_i : peso ou importância do ponto i ; $[d_{ij}]_{n \times n}$ é uma matriz simétrica de distâncias. Neste trabalho optou-se por utilizar as distâncias de *haversine* de cada ponto i à instalação possível em j , com $d_{ii} = 0$; $[x_{ij}]_{n \times n}$ uma matriz de alocação de cada ponto i ; $x_{ij} = 1$: se o

ponto i é alocado à instalação j ; $x_{ij} = 0$ em caso contrário; $x_{jj} = 1$: indica que j é uma mediana; $x_{jj} = 0$ em caso contrário.

A equação (13) é a função objetivo, a qual busca minimizar as distâncias ponderadas entre produtores (pontos) e as facilidades e está sujeita às restrições. A Equação (14) indica que cada cliente é alocado a uma única instalação, já a restrição dada na equação (15) é necessária para garantir que somente as facilidades oferecem o serviço proposto. A restrição da equação (16) indica que um cliente somente é atendido em uma facilidade; e, às restrições descritas em (17) impõem variáveis de decisão binárias.

A aplicação do método *p_medianas* para a localização otimizada de construção de uma central de biodigestão compartilhado foi realizada em três cenários, os quais estão descritos a seguir.

Cenário 1: Minimizar as distâncias sem considerar a ponderação por demanda ou custo de transporte

Neste caso, a função objetivo é

$$\min D = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} w_i d_{ij} x_{ij}$$

sendo $w_i = 1$ (os pontos/produtores tem o mesmo peso), d_{ij} são as distâncias de *haversine* entre o produtor i e o produtor j (possível local para instalação do biodigestor) e x_{ij} uma variável indicando a propriedade i irá ou não enviar dejetos a uma central de biodigestão compartilhado localizado na propriedade j .

Cenário 2: Minimizar as distâncias percorridas ponderado por suas respectivas demandas

Neste caso, a função objetivo é

$$\min D = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} w_i d_{ij} x_{ij}$$

com w_i representando as demandas de coleta de dejetos de cada propriedade rural ($i = 1, \dots, n$), d_{ij} as distâncias de *haversine* e x_{ij} uma variável indicando a propriedade i irá ou não enviar dejetos a uma central de biodigestão compartilhado localizado na propriedade j .

Cenário 3: Minimizar as distâncias percorridas ponderadas pelas respectivas demandas e custos de transporte

Neste caso, a função objetivo é

$$\min D = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} w_i d_{ij} x_{ij}$$

sendo que w_i representa uma ponderação de demanda e custos de transportes, d_{ij} as distâncias de *haversine* e x_{ij} uma variável indicando a propriedade i irá ou não enviar dejetos a uma central de biodigestão compartilhado localizado na propriedade j .

Para resolução deste problema, considerando os três cenários, será utilizado a heurística *Tbart*, algoritmo para resolução do problema *p-mediana* proposto por Teitz e Bart (1968), o qual, a partir de conjunto de pontos, visa encontrar um subconjunto de tamanho p , de forma que as distâncias somadas de qualquer ponto no conjunto até o ponto mais próximo em p sejam minimizadas, ainda destaca Goldberg e Luna (2000), que uma heurística é definida como uma sequência de procedimentos capaz de garantir uma solução viável e/ou otimizada na solução de um problema utilizando métodos computacionais de esforço aceitável.

Rodrigues (2007) e Hörner (2009), afirmam que o algoritmo *Tbart* é umas das principais heurísticas utilizada para resolução do problema de p -medianas. O algoritmo parte de uma solução inicial viável e considera que todos os vértices, neste caso produtores, são candidatos aptos a ser um ponto p (central). Desta forma o algoritmo determina se a nova configuração é melhor que a anterior, e conseqüentemente a usará para como solução inicial na iteração seguinte. No caso desse estudo, será considerado apenas um problema de alocação em um ponto central para diversos pontos de demanda.

Para operacionalização desse algoritmo foi utilizado o pacote “*tbart*” (BRUNSDON, 2015) do ambiente computacional R (R CORE TEAM, 2020).

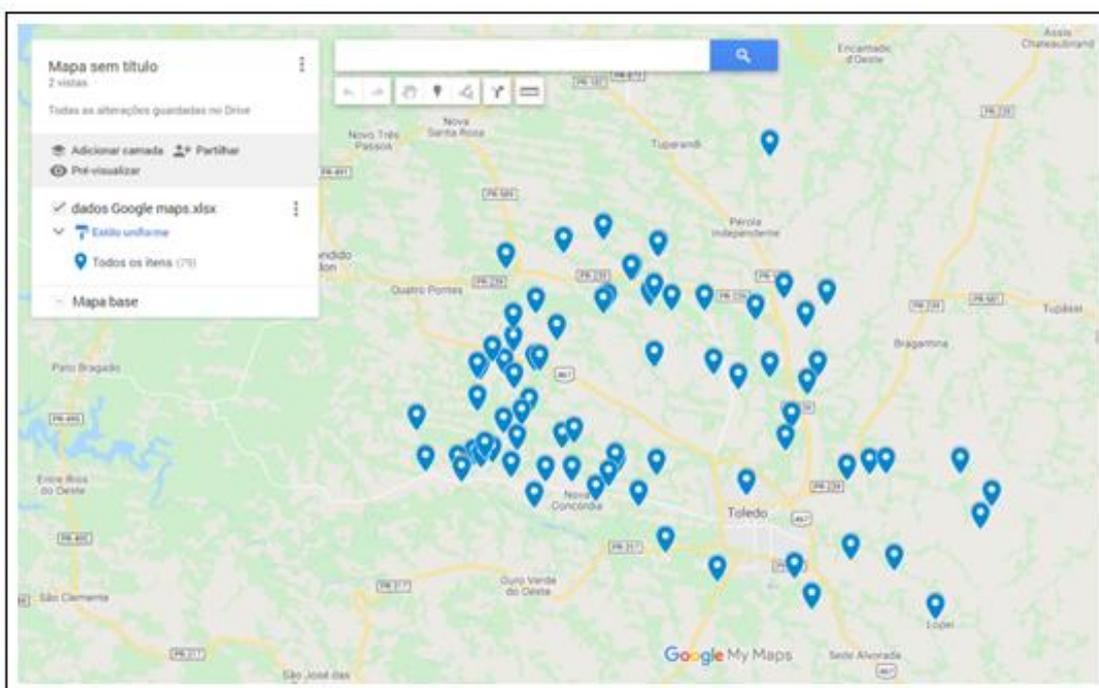
3. RESULTADOS

3.1 Modelo de Centro de gravidade

Destaca Pereira (2009) que uma reutilização sustentável dos dejetos é sua transformação em biogás e biofertilizantes, produtos que podem ser consumidos *in loco* ou investimento que pode ser comercializado na forma de gás ou energia elétrica.

Na aplicação do método centro de gravidade, adotou-se somente as coordenadas geográficas x_i e y_i (latitude e longitude) de 79 produtores (Figura 3), o volume e custo transporte por unidade de volume foram adaptados de Pereira (2009), o qual adotou-se o veículo T24 com custo por quilometro de 1,53 (R\$ / km) e um custo por tonelada e km de 0,151 (R\$/ km/ tonelada).

Figura 3: Região Toledo Paraná - Produtores (Suinocultura).



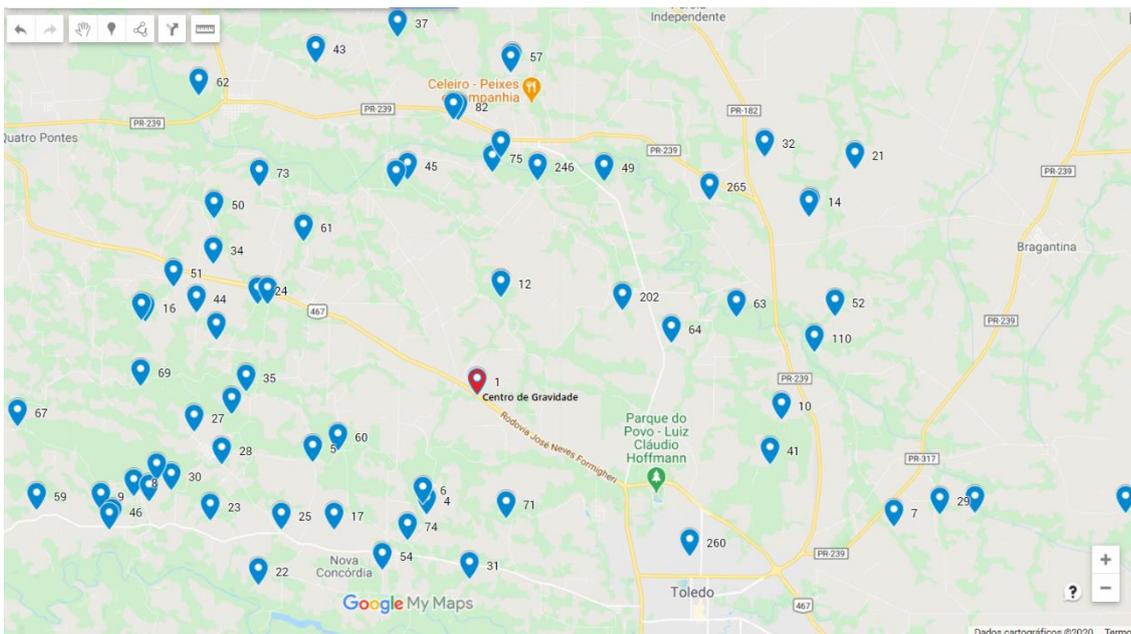
Fonte: O próprio autor, dados imputados no Google Maps – Georreferenciamento da região de Toledo PR

Na Figura 3 pode-se observar a posição geográfica dada pelo *Google Maps* dos produtores de suínos utilizados na aplicação deste estudo. As coordenadas geográficas, volume produzido e os custos de transportes de todas as propriedades consideradas neste estudo estão apresentados no Apêndice B.

As coordenadas x_i e y_i referem-se as localizações geográficas (latitude e longitude) de cada produtor, com o fator volume de carga destacado como V_i e o custo de transporte por unidade de volume como C_i . Assim, pelo método de centro de gravidade, obteve-se as coordenadas (latitude e longitude) para instalação de uma central de biodigestão compartilhado, ou seja, o centro de biodigestor compartilhado entre os produtores que minimizaria as distâncias percorridas deveria ser localizado nas coordenadas $\bar{x} = 24^{\circ}66'05.0008''S$ e $\bar{y} = 53^{\circ}81'91.1945''W$, o qual pode ser observado na Figura 4, destacado como ponto 1 e nomeado de “Centro de Gravidade”.

Assim, neste local seria indicado a construção do biodigestor para receber os dejetos destes produtores para processamento, tendo esse como característica na logística de um centro de distribuição (CD).

Figura 4: Posicionamento do Centro de Gravidade Região de Toledo Paraná - Produtores (Suinocultura).



Fonte: O próprio autor (Dados imputados no Google Maps – Georreferenciamento da região)

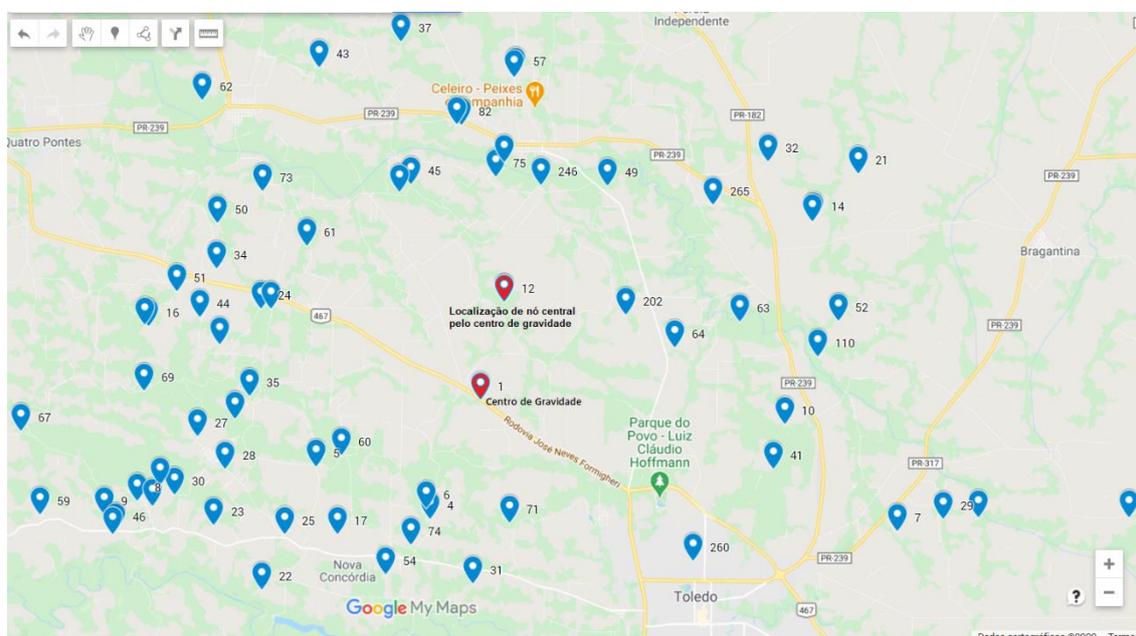
3.2 Localização de ponto central pelo centro de gravidade

Considerando as distâncias euclidianas (d_i) entre o produtor i e o centro de gravidade obtido inicialmente (com $i = 1, \dots, 79$), o centro de gravidade foi recalculado sucessivamente até a minimização do custo total de transporte, obtendo a localização de um ponto ou propriedade para instalação de uma central de biodigestão

compartilhado. As novas coordenadas de latitude e longitude obtidas ($\bar{x} = 24,63$ e $\bar{y} = 53,81$) correspondem ao ponto ou propriedade 12, localizando-se mais próxima do centro de gravidade (ponto 1) ao se comparar com as demais propriedades.

Na Figura 5 são destacados os dois pontos possíveis para instalação de uma central de biodigestão compartilhado, com as coordenadas obtidas pelos modelos de centro de gravidade (ponto 1) e a localização de ponto central pelo centro de gravidade (ponto 12), respectivamente. A diferença entre eles está na questão de escolha do melhor posicionamento do centro biodigestor compartilhado

Figura 5: Posicionamento do Centro de Gravidade Região de Toledo Paraná - Produtores (Suinocultura).



Fonte: O próprio autor (Dados imputados no Google Maps – Georreferenciamento da região)

O centro de gravidade busca o equilíbrio da distribuição dos pontos, levando em consideração o fator de custo, já a localização de nó central pelo centro de gravidade busca dentre os diversos pontos o ponto mais próximo do centro de gravidade (obtido minimizando os custos de transporte), comparando-o com as distâncias. Essa é a principal vantagem deste último em relação ao modelo de centro de gravidade, o qual pode indicar um ponto que poderá, por exemplo, estar localizado em qualquer região do mapa, enquanto a localização de ponto central pelo centro de

gravidade escolhe uma propriedade que já atua na sistemática para alimentação do biodigestor.

3.3 Localização de Facilidades *p-medianas*

No modelo de localização de facilidade *p-medianas* foi utilizado como distância entre os pontos (produtores) a distância de *haversine*, por ser uma distância que considera a curvatura da Terra, diferentemente da distância euclidiana.

Os cálculos das distâncias baseados na fórmula de *haversine*, foi realizado em uma planilha eletrônica, sendo que sua expressão de cálculo nesta planilha pode ser observada na Figura 6.

Figura 6: Fórmula de *haversine* em planilha eletrônica

```
"=6371*(ACOS(COS(RADIANOS(90-ROCV($L$2;'D:\Alex\Desktop\[CalculoGeo (1).xlsx]Cidades'!$A$2:$C$80;2;0)))*COS(RADIANOS(90-PROCV($L$3;'D:\Alex\Desktop\[CalculoGeo (1).xlsx]Cidades'!$A$2:$C$80;2;0))) +SEN(RADIANOS(90-ROCV($L$2;'D:\Alex\Desktop\[CalculoGeo (1).xlsx]Cidades'!$A$2:$C$80;2;0)))*SEN(RADIANOS(90-PROCV($L$3;'D:\Alex\Desktop\[CalculoGeo (1).xlsx]Cidades'!$A$2:$C$80;2;0))) *COS(RADIANOS(PROCV($L$2;'D:\Alex\Desktop\[CalculoGeo (1).xlsx]Cidades'!$A$2:$C$80;3;0)-PROCV($L$3;'D:\Alex\Desktop\[CalculoGeo (1).xlsx]Cidades'!$A$2:$C$80;3;0))))))
```

Fonte: Próprio autor

Silva (2020) destaca que a fórmula de *haversine* é uma das equações básicas na navegação, destaca que as distâncias entre dois pontos de uma esfera a partir de suas latitudes e longitudes, através da Lei dos Cossenos, onde é considerando no modelo a curvatura da Terra, isto é, o raio dela, que possui o valor de aproximadamente 6371 km. É um caso especial de uma fórmula mais geral de trigonometria esférica, a lei dos *haversine*, relacionando os lados a ângulos de uma esfera "triangular". Pode-se destacar que para a fórmula implementada na planilha eletrônica conforme Figura 6, foi necessário fornecer as coordenadas x_i latitude e y_i longitude armazenadas no arquivo CalculoGeo.xlsx e apresentada no Apêndice B.

Após realizar os cálculos das distâncias entre as coordenadas obteve-se uma matriz das distâncias entre os produtores, conforme a Tabela 1 (aqui exemplificando as distâncias de apenas 10 produtores). Os demais dados encontram-se no Apêndice A.

Tabela 1: Matriz de transporte: distância entre os produtores em km (apenas 10)

Propriedades	0	41	33	15	53	106	13	2	20	56	26	...
0	0,00	12,50	11,90	15,60	38,70	19,00	22,00	30,40	25,20	21,60	30,30	
41	12,50	0,00	13,52	12,69	36,20	11,07	13,86	19,32	13,88	10,94	17,88	
33	11,90	13,52	0,00	5,08	26,76	11,12	13,38	23,66	19,51	15,75	26,86	
15	15,60	12,69	5,08	0,00	24,21	6,46	8,38	18,79	15,03	11,44	22,78	
53	38,70	36,20	26,76	24,21	0,00	25,69	23,80	29,00	30,05	29,01	37,34	
106	19,00	11,07	11,12	6,46	25,69	0,00	3,07	12,55	8,57	5,10	16,44	
13	22,00	13,86	13,38	8,38	23,80	3,07	0,00	10,51	7,71	5,34	15,88	
2	30,40	19,32	23,66	18,79	29,00	12,55	10,51	0,00	5,44	8,83	8,66	
20	25,20	13,88	19,51	15,03	30,05	8,57	7,71	5,44	0,00	3,82	8,17	
56	21,60	10,94	15,75	11,44	29,01	5,10	5,34	8,83	3,82	0,00	11,36	
26	30,30	17,88	26,86	22,78	37,34	16,44	15,88	8,66	8,17	11,36	0,00	
.												
.												
.												

Fonte: Próprio autor

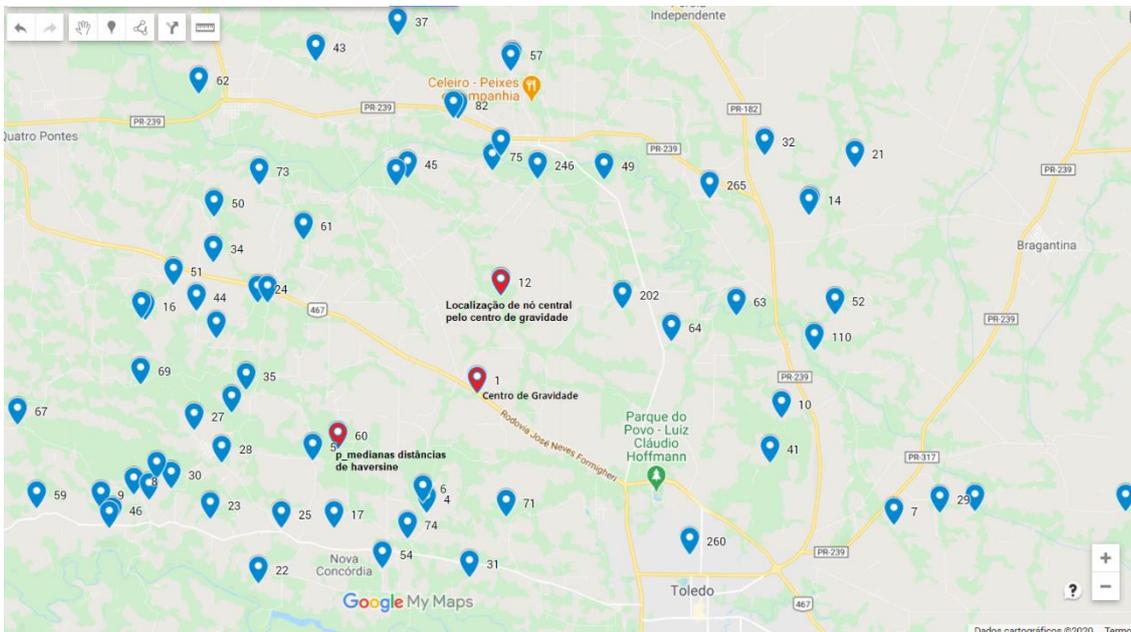
Um modelo alternativo para estimação da localização de uma central de biodigestão compartilhado é o modelo de otimização discreta de localização de facilidades *p*-medianas, o qual envolve a localização de *p* biodigestores centrais (no caso aqui foi considerado $p=1$) e os produtores rurais que deverão acessar estes biodigestores para depositar seus resíduos, de modo a minimizar a soma das distâncias entre os produtores e o respectivo biodigestor compartilhado. Este modelo permite que a localização deste biodigestor esteja em qualquer ponto (nó), ou seja os produtores.

O primeiro cenário, utilizando o método *p*-medianas, considerou-se apenas as distâncias de *haversine*, destacado na Figura 7. Neste cenário, foi encontrado como

melhor posição o produtor 60, com latitude igual a 24°67'88.8889"S e longitude igual a 53°86'94.4444"W (ponto 60).

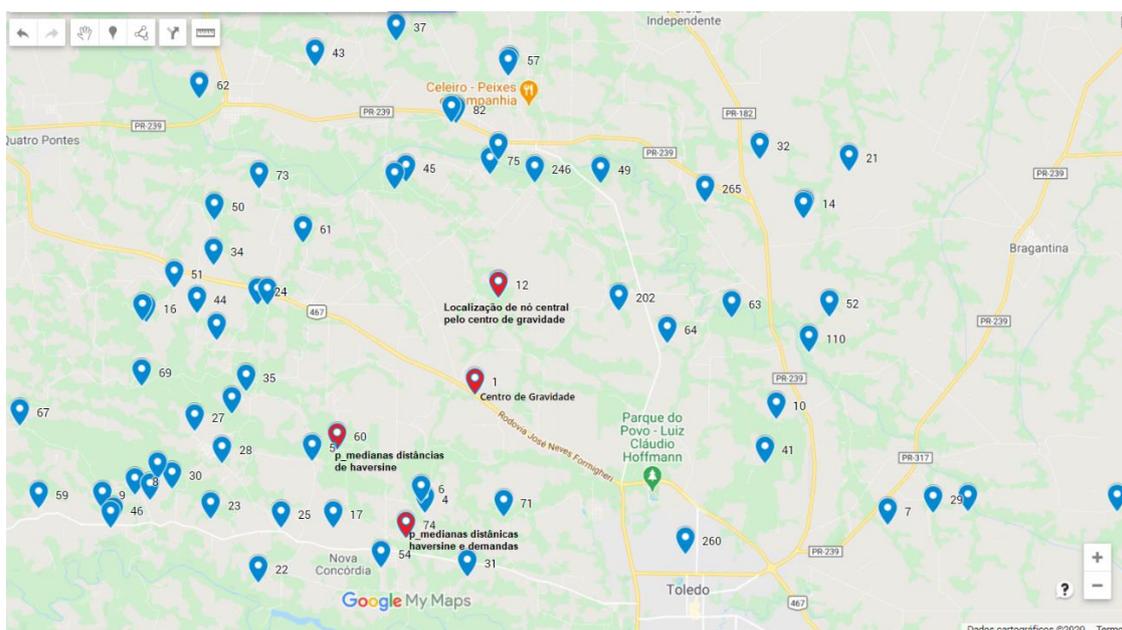
Ainda pelo método de $p_medianas$ foi utilizado um cenário adotando a distância de *haversine* ponderada pelas demandas de cada produtor (Cenário 2), obtendo-se como a localização ótima para uma central de biodigestão compartilhado na coordenada do produtor 74, destacado na Figura 8, com a posição geográfica de latitude igual a 24°70'80.5556"S e longitude 53°84'41.6667"W. Neste caso o ponto se aproximou da região com maior concentração de demanda.

Figura 7: Posicionamento do Centro utilizando método $p_mediana$ somente com as distâncias de *haversine* (Cenário 1) de Toledo Paraná - Produtores (Suinocultura).



Fonte: O próprio autor (Dados imputados no Google Maps – Georreferenciamento da região)

Figura 8: Posicionamento do Centro utilizando método $p_mediana$ com a distância de *haversine* e as demandas (Cenário 2) de Toledo Paraná - Produtores (Suinocultura).

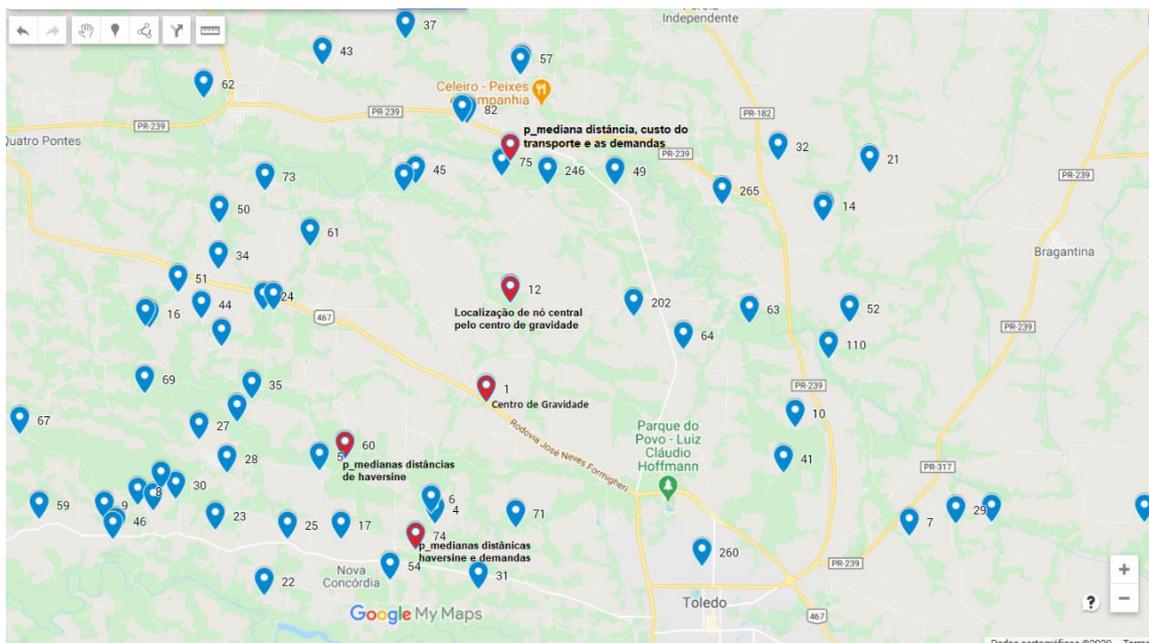


Fonte: O próprio autor (Dados imputados no Google Maps – Georreferenciamento da região)

Já no cenário 3, onde foi considerado a distância dos produtores, o custo do transporte e as demandas, a melhor localização para o biodigestor foi o ponto 75, destacado na Figura 9, com a posição geográfica Latitude $24^{\circ}58'69.4444''S$ e Longitude $53^{\circ}81'38.8889''W$.

Na Figura 9 abaixo é possível observar o posicionamento de todos obtidos por cada cenário proposto. Desta maneira, entendendo a característica de cada ponto, cabe ao gestor definir qual característica é melhor para sua situação.

Figura 9: Posicionamento do Centro utilizando método *p_mediana* com a distância, o custo do transporte e as demandas (Cenário 3) de Toledo Paraná - Produtores (Suinocultura).



Fonte: O próprio autor (Dados imputados no Google Maps – Georreferenciamento da região)

A partir dos quatro produtores identificados pelo método *p_medianas* como possíveis locais para instalação de uma central de biodigestão compartilhado, a fim de ajudar com algumas características dos mesmos, destacam-se a somatória das distâncias e demandas, e a somatória de todas as distâncias de *haversine* do produtor central em relação a todos os demais produtores. Observa-se na Tabela 2 que a menor distância total seria com o produtor 60, indicando este como sendo o local de instalação do biodigestor com menor distância total.

Tabela 2: Somatória das distâncias entre os produtores

Propriedades	41	33	15	53	106	13	2	20	56	26	Dist. Total
12	4497,10	4294,94	6307,50	12156,84	8003,63	7285,39	8860,46	5904,20	5751,54	7127,71	1146,41
60	6137,35	3302,15	5630,05	10706,16	8149,28	7313,84	9426,99	6462,98	6270,94	8132,25	1137,02
74	5246,39	2021,10	4083,06	9462,62	6525,52	5985,92	8268,99	5581,68	5280,48	7326,57	1197,62
75	5752,72	5727,68	8027,30	13669,07	9766,23	8690,00	9965,64	6775,86	6784,21	7820,65	1267,43

Fonte: Próprio autor

Já na Tabela 3 pode-se observar, para cada ponto identificado como possível local de instalação de uma central de biodigestão compartilhado (pontos 12, 60, 74 e

75), os produtores classificados no primeiro quartil da distância em relação aos respectivos pontos de instalação do biodigestor, ou seja, os 25% dos produtores mais próximos. Considerando a somatória das distâncias observadas, destaca-se a propriedade do ponto 60 apresentando a menor distância total dos produtores em relação ao biodigestor, ou seja, 32.732,95 metros.

Tabela 3: Volume demandado (V_i) e distâncias (d_i) entre o local de instalação de uma central biodigestora compartilhada e as 25% das propriedades mais próximas.

Localização da central Biodigestora (Prop. 12)			Localização da central Biodigestora (Prop. 60)			Localização da central Biodigestora (Prop. 74)			Localização da central Biodigestora (Prop. 75)		
Prop.	d_i	V_i									
12	0	320	60	0	360	74	0	310	75	0	175
75	928,68	175	5	336,01	297	4	362,27	275	268	247,65	360
86	1242,69	195	25	770,92	190	6	500,01	310	246	487,99	255
246	1306,11	255	4	1256,36	275	54	522,17	319	86	792,01	195
202	1571,39	310	17	1256,79	380	31	672,11	220	256	918,84	340
268	2109,92	360	35	1279,08	280	25	1008,76	190	82	935,02	365
49	2174,39	335	6	1300,94	310	17	1188,27	380	57	1173,00	270
45	2284,01	360	74	1471,61	310	22	1503,44	230	45	1284,23	360
64	2354,45	320	22	1500,22	230	71	1512,36	360	58	1513,20	355
50	2361,25	190	28	1501,19	310	5	1527,05	297	49	1575,44	335
25	2549,47	190	72	1688,45	360	60	1708,96	360	12	1698,16	320
57	2582,75	270	31	1693,00	220	33	2021,10	270	50	2235,23	190
31	2618,48	220	54	1695,00	319	35	2575,15	280	37	2451,78	356
256	2625,96	340	68	1884,88	273	28	2593,33	310	202	2475,83	310
4	2653,99	275	27	1988,87	330	75	2779,31	175	43	2862,57	330
82	2788,94	365	23	2084,26	345	23	2852,87	345	265	2975,68	325
6	2884,43	310	50	2096,64	190	86	2889,90	195	19	3009,46	225
19	2991,87	225	55	2117,12	310	50	2988,05	190	61	3029,00	360
55	3024,18	310	86	2213,41	195	260	3059,42	260	25	3315,53	190
61	3093,36	360	24	2250,75	320	68	3171,33	273	64	3327,42	320
5	3115,27	297	75	2347,45	175	72	3263,09	360	55	3379,00	310
Total	47261,59	5982	Total	32732,95	5979	Total	38698,94	5909	Total	39687,04	6246

Fonte: O Próprio autor

No entanto, ao considerar os produtores mais próximos (primeiro quartil) de cada ponto localizado, mas observando o volume de demanda total destes produtores,

o ponto central 75 destacou-se com maior demanda próxima, totalizando uma demanda de produtores próximos igual a 6246 kg. Vale destacar que os métodos aplicados darão suporte para a melhor decisão, neste caso podendo ser a menor distância dos pontos ou ainda onde os produtores mais próximos apresentam o maior volume de dejetos.

4. CONCLUSÕES

A grande preocupação e o desafio das diversas organizações, principalmente a do ramo agrícola, estão ligados a busca de alternativas que possam promover a redução de custos e as inovações tecnológicas que respeitem a preservação do meio ambiente. Buscou-se nesse trabalho, investigar processos de otimização na área de logística, utilizando procedimentos e modelos que possibilitam resultados significativos para as organizações, contribuindo para a tomada de decisão e, contudo, a redução dos custos nas operações de transportes de materiais, mais precisamente, transporte de dejetos para produção de biogás.

A metodologia baseada nos métodos de centro de gravidade e de localização de facilidades, proposta nesta pesquisa, propiciou melhorias e redução de custos das organizações rurais.

Um fator limitante do método de centro de gravidade é a possibilidade deste encontrar pontos geográficos que não possam ser utilizados, como exemplo uma propriedade particular que não faz parte do interesse do negócio, ou ainda pontos como rios, rodovias, áreas de preservação, entre outros. O que torna a adaptação desta técnica, para resolução do presente problema, um objeto para futuras pesquisas.

Os cenários avaliados evidenciaram que os modelos estudados são excelentes ferramentas de análise para auxiliar os gestores de organizações ou produtores nas tomadas de decisões de acordo com a realidade destes. A adoção da metodologia proposta facilita a implementação de projetos de localização, podendo também ser adotada na solução de diversos problemas, tais como: o posicionamento de clientes por regiões, localização de fornecedores, fabricas, entre outros.

5. REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 1

AQUINO, Í. R. B. **Proposição de um modelo matemático para localização de pontos de coleta de resíduos elétricos e eletroeletrônicos na cidade de Caruaru-PE.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2019.

ANISYA; Y. G. **A Implementação da fórmula Haversine e o melhor método de primeira pesquisa na pesquisa da rota de evacuação do tsunami,** revista IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 97, Issue 1, pp. 012004 um - 2017

ARAKAKI, R. G. I.; LORENA, L. A. N. **Uma heurística de localização-alocação (HLA) para problemas de localização de facilidades.** *Prod.* [online]. 2006, vol.16, n.2, pp.319-328. ISSN 1980-5411. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132006000200011>. Acesso em 20 out. 2020

ARENALES, M. *et al.* **Pesquisa Operacional.** Rio de Janeiro: Elsevier, ABEPRO, 2011

ARAÚJO, G.M. **Remoção Biológica de gás sulfídrico concentrado para o tratamento de biogás.** 2013 Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria. 2013

ASSIS, P. U. M., **Sistema de rastreamento de veículo para empresas de transporte, utilizando navegação por satélite.** 2010. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia da Computação) - Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Brasília, DF, 2010. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/123456789/3383/3/20516524.pdf>. Acesso em: 30 set. 2020.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos - Planejamento, Organização e Logística Empresarial.** Porto Alegre: Bookman, 2001.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento na Cadeia de Suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial.** 4. Ed. Porto Alegre: Bookmam , 2006

BORELLA, M. R. C.; SILVA, G. C.- **Estudo logístico para instalação de novo CD: Abordagem didática de um estudo real,** Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 896-922, 2019. Disponível em DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v19i3.3330>. Acesso em: 20 set. 2020.

BRUNSDON, C. **tbart: Teitz and Bart's p--Median Algotithma.** R packages version 1.0, 2015. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=tbart>. Acesso em: 10 nov. 2020

CAMARA, M.V.O, **Modelagem matemática para localização de unidades de apoio para auxiliara pesquisas de tráfego rodoviário com múltiplo estágios.** 2016. Dissertação (Mestre em Engenharia de Transporte/ Pós-graduação em

Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

CAMPOS, D. M. R., **BIBLIOTECA DE CRIAÇÃO DE ROTAS ENTRE COORDENADAS EM AMBIENTES MARÍTIMOS NO SISTEMA BIO DATA**. 2017. Dissertação (Mestre em Desenvolvimento de Sistemas e Aplicações/ Engenharia da Computação) Universidade Estadual do Maranhão, São Luis, 2017.

CERVI, G. R. **Avaliação econômica do aproveitamento do biogás e biofertilizante produzido por biodigestão anaeróbica: Estudo de caso em unidade biointegrada**. 2009. Dissertação (Mestre em Agronomia, Energia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrônômica, Botucatu, 2009

Christofides, N. **Graph theory: an algorithmic approach**. New York: Academic Press Inc, 1975.

CHURCH, R. e REVELLE, C. **O problema de localização de cobertura máxima** *Papers of the Regional Science Association* **32**, 101–118 (1974). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01942293> Acesso em: 15 out. 2020.

FERRI, G. L., *et al.* **MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA**. *Brazilian Journal of Production Engineering - BJPE*, **3**(2), 40-56. 2017. Disponível em: https://doi.org/10.0001/v3n2_4. Acesso em 03 nov. 2020

GOLDBARG, M. C.; Luna, H. P. L. **Otimização Combinatória e Programação linear: Modelos e Algoritmos**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

HAKIMI, S.L. **Optimum distribution of switching centers and the medians of a graph**. *Operations Research*, **12**, p.450-459, 1964.

HAKIMI, S.L. **Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems**. *Operations Research*, **13**, p.462-475, 1965.

HÖRNER, D. **Resolução do problema das p-medianas não capacitado: Uma comparação de técnicas heurísticas**. 2009. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção / Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

LACERDA, L. **Considerações sobre o estudo de localização de instalações**. Rio de Janeiro: Centro de Estudos Logísticos - CEL, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <https://www.ilos.com.br/web/consideracoes-sobre-o-estudo-de-localizacao-de-instalacoes-2/>. Acesso em: 10 set. 2020

LEAL, I. C. J.; *et al.* **Estudo para Implementação de um Sistema de Roteirização e um Novo Centro de Distribuição para uma Empresa de Água Mineral do Sul de Minas Gerais**, IX SEGeT 2012 Simpósio de excelência em Gestão de Tecnologia, Gestão, Inovação e Tecnologia para Sustentabilidade - Universidade

Federal Fluminense – UFF, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em:
<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/35416327.pdf>
Acesso em: 23 set. 2020

LIMA, R. S. **Bases para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes**. 2003. Tese (Doutorado em engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

LOUREIRO, S.A; *et al.* **Procedimento para localização e alocação de vagas de cargas e descarga em centros urbanos**, Campinas, 2012, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo. Disponível em:
http://www.lalt.fec.unicamp.br/scriba/files/escrita%20portugues/LALT_KMOO_modelo-artigo%20ANPET%202012_20130507.pdf. Acesso em: 03 set. 2020

MAPA, S. M. S. **Localização-alocação de instalações com sistema de informações geográficas e modelagem matemática**. 2007. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

MAX, G.O. **Sistema de Localização de Facilidades**. Dissertação (Mestrado. (Programa de Pós-Graduação do Instituto de Informática / Ciência da Computação) - Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2012.

NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier – Campus, 2015.

OI, R. K.; *et al.* **Aplicação do método de centro de gravidade para localização de CD de uma empresa de distribuição de medicamentos e materiais hospitalares**. Joinville, 2017. XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_238_379_32716.pdf. Acesso em 19 jun. 2020

OLIVEIRA, M.G., **Sistema de Localização de Facilidades - Uma abordagem para mensuração de pontos de demanda e localização de facilidades**. Dissertação (Mestre ciência da computação/ Programa de Pós-graduação do Instituto de Informática) Universidade Federal de Goiás, Goiânia – GO – 2012

OLIVEIRA, B.F.; *et al.* **Uso do centro de gravidade para localizar a base operacional da TPG do Brasil**. – Resende, 2015. XII SEGET Simpósio de excelência em gestão de tecnologia. Disponível em:
<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/24722311.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2020

OLIVEIRA, C.P.; **Modelos de otimização aplicado ao problema de máxima cobertura: estudo de caso do SAMU-BH**. Dissertação (Mestrado Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais). Programa de pós-graduação em Administração. 2020

PEREIRA, S.M. **Estudo dos custos operacionais e da viabilidade de implantação de um sistema de coleta de dejetos suínos para a geração de Bioenergia, no município de Toledo – PR.** Dissertação (Mestre programa de pós graduação *Stricto Sensu* em desenvolvimento regional e agronegócio) Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNOESTE/ *Campus* Toledo - 2009

PÉREZ, I.; et al. **Avaliação técnica, econômica e ambiental de digestores domésticos de biogás para comunidades rurais.** Energia renovável, 62 , 313-318., 2014 <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.07.017>

PERUZZATO, M. **Avaliação de Desempenho de Granjas Suinícolas pelo Emprego de Indicadores de Sustentabilidade.** Dissertação (Mestre programa de pós-graduação em Engenharia Civil) Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2009.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 30 Out. 2020.

RIBEIRO JÚNIOR, José Geraldo *et al.* **Sistema para monitoramento descentralizado de trânsito baseado em redes veiculares infraestruturadas.** In: 31º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 10., 2013, Brasília. Anais eletrônicos... Brasília: Royal Tulip Brasilia Alvorada, 2010. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/ftp/gta/TechReports/JCC13.pdf>, Acessado em: 20 ago 2021

RODRIGUES, E.D.R.; *et al.* **Estudo de localização para um centro de distribuição na região de São Paulo para operações com produtos Hortifruti.** In: Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – 32º ANPET. Congresso de pesquisa e ensino em transporte. Gramado – RS, 2018 p. 2265 Disponível em: http://146.164.5.73:30080/tempsite/anais/documentos/2018/Logistica/Logistica%20Urbana%20I/5_409_AC.pdf. Acesso em: 27 fev. 2020.

RODRIGUES, G. G. R; PIZZOLATO, N. D. **Centros de distribuição: armazenagem e estratégia.** In XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, 2003 Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0112_0473.pdf. Acessado em 29 out. 2020.

RODRIGUES, S. B. A. **Metaheurística colônia de formigas aplicada a um problema de roteamento de veículos: caso da Itaipu Binacional.** Dissertação (Mestre em Ciências / Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Área de concentração em Programação Matemática.) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SANCHES, R. M. **Desenvolvimento de um sistema de planejamento de trajetória para veículos autônomos agrícolas.** Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Dinâmica de

Máquinas e Sistemas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

SATO, F. R. L. **Problemas e métodos decisórios de localização de empresa** RAE-eletrônica, Volume 1, Número 2, jul-dez/2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/raeel/v1n2/v1n2a11.pdf>. Acessado em: 20 nov. 2020

SILVA, M. D. **ShivaRadar: Aplicação para geolocalização de estabelecimentos gamers**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2020

SINNOTT, R. W. **Virtues of the Haversine, Sky and Telescope** Vol. 68, Issue 2, p.158, 1984.

TANIGUCCHI, E.; *et al.* **Logística da cidade: Modelagem de rede e sistemas de transporte inteligentes**; Oxford: Editora Elsevier, 2001

TEITZ, M. B.; BART, P. **Heuristics methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph**. Operations Research, v.16, p.955-961, 1968.

TESSARI, L. G. **APLICATIVO DE LOCALIZAÇÃO DE LUGARES POR GPS PARA IPHONE**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciência da Computação), Universidade de Caxias do Sul, 2010

YADAV, V., BHURJEE, AK, KARMAKAR, S., & DIKSHIT, AK. **Um modelo de localização de instalação para sistema de gestão de resíduos sólidos municipais em ambiente incerto**. *Science of the Total Environment* , 603 , 760-771. , 2017 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.207>

CAPÍTULO 2 - MÉTODOS DE ROTEIRIZAÇÃO PARA COLETA DE DEJETOS EM PROPRIEDADES RURAIS

RESUMO

A logística tem permitido para os produtores rurais criar métodos que facilitam a coleta e distribuição dos produtos. Neste sentido, buscou-se evidenciar a aplicação dos métodos de roteirização que possam ser aplicados nas operações interna da coleta de dejetos e entrega para uma central de biodigestão compartilhado com a finalidade de compartilhar seu uso. Para isso foram aplicados os métodos de varredura e o problema de roteirização veicular (PRV), adotando a heurística do vizinho mais próximo, os quais podem contribuir com a melhoria logística dos processos de coleta de distribuição de produtos do campo, em especial, a roteirização a partir de centros ou pontos que podem oferecer vantagens em relação a menor distância para ser percorrida, o menor custo de operação, na região que apresenta maior demanda ou no cruzamento dessas informações. Desta maneira o método PRV utilizando a heurística do vizinho mais próximo trouxe os melhores resultados quando analisado o total das distâncias a serem percorridas partindo, cada rota, de uma central de biodigestão compartilhado localizado pelo método de centro de gravidade, com um total de 64,62 km com 9 rotas atendendo todas as propriedades.

Palavras-chave: Roteirização, método varredura, vizinho mais próximo.

CHAPTER 2 - ROUTINIZATION METHODS FOR WASTE COLLECTION ON RURAL PROPERTIES

ABSTRACT

Logistics has allowed farmers to create methods that streamline the collection and distribution of their products, in this work, we sought to highlight the application of routinization methods that can be applied to the internal operations of waste collection and delivery to a central biodigester to share its use. To this end, the scanning methods and the vehicular routinization problem (VRP) were applied, by adopting the nearest heuristic neighbor, which might contribute to the logistical improvement of the collection and distribution processes of products from the field, in particular, routinization from centers or points that can offer some advantage concerning the shortest distance to be driven, the lowest cost of operation, in the area presenting the highest demand or in the cross-referencing of this information, therefore the PRV method applied to the nearest neighbor heuristic brought the best results when analyzing the total distance to be driven starting from the center of gravity with a total of 64.62 km with 9 routes attending all the properties.

Keywords: Routinization, scanning method, nearest neighbor.

1 INTRODUÇÃO

A logística assume atualmente um papel importante nas estratégias gerenciais das organizações, as quais constantemente necessitam criar boas práticas no atendimento as demandas. Um fator importante neste contexto refere-se à adoção de um sistema que permite criar rotas de transporte otimizadas, propiciando reduções importantes nos custos das organizações, visto que um dos pilares da logística é minimizar os custos de movimentação de produtos no tempo (fatores relacionados a distribuição e entregas) e no espaço (estratégias de armazenagem). Para tanto, existem diversas ferramentas que auxiliam as organizações, entre elas, a ferramenta de roteirização que, conforme relata Cunha (2000), tem como finalidade definir itinerários a serem percorridos por veículos que atendam um depósito ou centro de distribuição.

Também é importante destacar que a utilização das ferramentas da logística podem trazer para as organizações vantagens competitivas em termos de redução de estoque, cumprimento de prazo na entrega do produto e respostas rápidas às necessidades do mercado (BERTAGLIA, 2009), respeitando sempre as restrições estabelecidas para geração de novas rotas.

Novaes (2015) descreve que a roteirização é utilizada quando são encontrados problemas na distribuição física prejudiciais ao planejamento logístico. Assim, a roteirização é uma atividade que visa os melhores trajetos para um veículo realizar em uma rede de rotas pré-definida. Além do tipo de veículo, o número de embarques a ser realizado em um determinado tempo e a escolha das rotas podem melhorar o nível de serviço logístico realizado. Já Brandão (2020) indica que o objetivo da roteirização é definir um percurso com a melhor sequência de paradas, reduzindo a distância a ser percorrida, o tempo de deslocamento e os custos da operação.

Observam-se na literatura muitos estudos utilizando soluções para a determinação de rotas otimizadas, devido a sua aplicabilidade e importância econômica, possibilitando determinar as estratégias de distribuição. Assim os problemas de roteirização são variados e estão relacionados com o tipo de frota, à localização dos clientes, à capacidade e a demanda que cada cliente possui, além do objetivo a ser alcançado, como minimizar o custo de carregamento, melhorar a distribuição de coleta, entre outros. (MARQUES, 2007; ARENALES, 2011; BELFIORE *et al*, 2006).

Harrison e Van Hoek (2003) destacam que a estratégia de logística deve priorizar aspectos de melhorias nos serviços, de redução do capital (minimizando o investimento) e de reduções de custo, principalmente de movimentação e estocagem, assim pode-se definir a roteirização como sendo um processo que determina rotas (caminhos) ou uma série de paradas que devem ser realizadas por veículos de uma frota ou ainda único, visando percorrer um conjunto de pontos dispersos geograficamente em uma região, de forma a atender uma necessidade ou demandas. Estes pontos de paradas são representados em uma rede de transportes por nós, os quais serão atendidos por um ou diversos veículos por meio de caminhos representados por arcos. Na roteirização é possível designar o processo para se determinar os caminhos ou sequências de paradas, podendo apresentar ou não restrições para este atendimento, tais como: horário de cada tarefa, prioridades e cumprimento de horários, capacidade do veículo (CUNHA, 2000).

Ainda destaca Cunha (2000), que as heurísticas utilizadas pelos softwares apresentam soluções com algum tipo de sub-otimização, pois visam primeiramente a minimizar a frota, para depois minimizar a distância total percorrida. Isso ocorre, pois, as heurísticas clássicas são baseadas em distância ou medidas de tempo de deslocamentos, fixando outros parâmetros como no caso deste estudo, tais como a velocidade da operação, o volume de dejetos nas propriedades e o tempo total das distâncias.

De acordo com Brandão (2020), os diversos procedimentos de roteirização logístico podem apresentar ótimos resultados operacionais, mas deve-se levar em consideração que os percursos otimizados devem seguir os princípios de básicos da roteirização, visando maior eficiência.

Dentre os métodos de roteirização pode-se destacar o método varredura, o método das economias (também conhecido como Clarke e Wright), o método do caixeiro viajante, o carteiro chinês e o método do carteiro rural. Além destes, há também os métodos heurísticos, tais como a heurística construtiva e de melhoria.

Novaes (2015) relata que o método varredura é considerado simples para aplicação computacional, porém apresenta uma precisão de apenas 10%, portanto, esse método é indicado para resoluções e respostas rápidas. Já Pereira (2009) destaca que o método de Clarke e Wright tem como objetivo a otimização das distâncias, do tempo, da capacidade do veículo e visa a redução de custos. Quanto

ao Problema do Caixeiro Viajante ou TSP (do inglês *Traveling Salesman Problem*), Almeida (2018) destaca que é um problema de otimização combinatória no qual busca-se determinar a rota de menor custo entre um grupo de pontos, que podem ser representações de cidades, localidades, ou de outros elementos tratados em problemas de designação.

Almeida (2018) também descreve o Problema do Carteiro Chinês, sendo conhecido por PCC ou CPP (do inglês *Chinese Postman Problem*), o qual é basicamente um problema de roteamento de ligações em grafos, isso é, consiste em encontrar uma rota, ou circuito fechado de custo mínimo em um grafo. Esse circuito é pelo menos pré-euleriano, ou seja, um circuito que utiliza todas as ligações pelo menos uma vez.

No método do carteiro rural, a roteirização deve descrever o percurso de veículos tendo como objetivo, minimizar custos, melhorando performance, atendendo restrições, passando por vários locais que podem ser obrigatórios ou não, e retornar à origem ou seguir para um local de término pré-definido (SANTORO, 2016). Entre as aplicações deste modelo, Lourenço (2016) realizou estudos de otimização de rotas de coleta de resíduos sólidos em uma área da cidade de Campina Grande – PB, enquanto Araujo (2003) criou um modelo de resolução para problema de roteirização em arcos com restrição de capacidade.

Devido à dificuldade de resolução dos procedimentos de otimização exatos para algumas aplicações, os métodos heurísticos são bastante utilizados. Estes métodos são procedimentos que seguem uma intuição para resolver o problema (forma humana de resolver o problema, fenômenos naturais, processos biológicos, entre outros). Não garantem a otimalidade da solução final, mas em geral produzem rapidamente soluções finais de boa qualidade (VIEIRA, 2017).

Segundo Vieira (2017), as heurísticas podem ser classificadas como Heurística construtiva, a qual cria uma solução a partir do zero (começando do nada), obtendo-se uma solução final passo a passo, segundo um conjunto de regras pré-estabelecido. Já a Heurística de melhoria inicia com uma solução e, em seguida, tenta melhorá-la, geralmente fazendo pequenas alterações na solução atual.

Entre as heurísticas construtivas, pode-se citar a heurística do vizinho mais próximo, a qual em cada interação um componente da solução é adicionado (SOLOMON, 1987; ARENALES et al., 2015).

Teixeira (2014) destaca que uma característica da heurística do vizinho mais próximo está relacionada a criação de uma matriz para determinar as distâncias entre os pontos, desta forma, são criadas as rotas, sendo o ponto mais próximo a origem adicionado primeiro e os demais pontos posteriormente,

Assim, esse trabalho tem como objetivo descrever a aplicação de dois modelos de otimização de roteirização (método varredura e problema de roteirização de veículos – PRV aplicando a heurística do vizinho mais próximo) com os dados coletados junto aos produtores de suínos da região de Toledo PR, visando a criação de rotas entre produtores e uma central de biodigestão compartilhado, instalado em uma posição geográfica definida a partir de diferentes métodos de localização.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 Material

Para a modelagem matemática visando localizar a melhor posição de uma central de biodigestão compartilhado foram utilizados os dados de 380 produtores da região de Toledo/ PR, sobre o posicionamento geográfico (latitude e longitude), a produção aproximada total de dejetos 45.462 toneladas/mês obtidos junto ao levantamento realizado por Pereira (2009). No entanto, para simplificação dos testes realizados na aplicação dos métodos deste trabalho, foi utilizada apenas uma amostra 79 produtores sorteados aleatoriamente do total de produtores disponíveis, que somados produzem aproximadamente 24.456 toneladas/mês de dejetos, a partir dos quais, suas coordenadas geográficas foram utilizadas para criação da matriz de distâncias, obtidas pela fórmula de *haversine* (apresentada no Apêndice A).

2.2 Método

Para definição das rotas de coleta de dejetos, a partir de diferentes pontos de instalação de uma central de biodigestão compartilhado, foram utilizados os métodos varredura e o problema de roteirização de veículo (PRV), com a aplicação da heurística do vizinho mais próximo, tomando como base os dados apresentados por Pereira (2009), o qual utilizou o método de roteirização de Clarke e Wright com o ponto

de partida de um biodigestor já pré-estabelecido, diferente deste estudo, o qual o ponto de partida foi uma central de biodigestão compartilhado com sua posição geográfica obtida de forma otimizada a partir dos métodos de centro de gravidade e do método *p-medianas* de localização de facilidades.

Inicialmente aplicou-se o método varredura partindo de uma central de biodigestão compartilhado, localizado pelo método de centro de gravidade o qual apresentou a coordenada latitude $x_i=24^{\circ}66'05.0008''S$ e longitude $y_i=53^{\circ}81'91.1945''W$.

Posteriormente, utilizou-se a modelagem do problema de roteirização de veículos (PRV), considerando diferentes pontos de partida (local de instalação de uma central de biodigestão compartilhado), os quais foram localizados pelos métodos:

- centro de gravidade (localizado na coordenada latitude $24^{\circ}66'05.0008''S$ e longitude $53^{\circ}81'91.1945''W$);
- Localização de ponto central pelo centro de gravidade (Propriedade 12 - localizada na coordenada latitude $24^{\circ}37'42.100308''S$ e longitude $53^{\circ}48'38.053061''W$);
- Localização de facilidades *p_medianas*, ponderado pelas distâncias (Propriedade 60 - localizada na coordenada latitude $24^{\circ}40'44.206830''S$ e longitude $53^{\circ}52'10.200877''W$);
- Localização de facilidades *p_medianas*, ponderado pelas distâncias e demandas (Propriedade 74 - localizada na latitude $24^{\circ}42'29.699253''S$ e longitude $53^{\circ}50'39.373527''W$);
- Localização de facilidades *p_medianas*, ponderado pelas distâncias e custos (Propriedade 75 - localizada na latitude $24^{\circ}35'13.93001''S$ e longitude $53^{\circ}48'50.32123''W$).

Como restrições para a modelagem, tanto para o método varredura quanto pelo PRV, considerou-se um tempo de trabalho do motorista de no máximo de 8 horas e, como base para o cálculo do tempo total do percurso da rota, considerou-se uma velocidade média para o caminhão de 40 km/h, por ser uma área rural. A capacidade de carga do veículo considerada foi de 7000 kg de dejetos e para o carregamento e descarregamento em uma central de biodigestão compartilhado definiu-se, respectivamente, os tempos de 35 e 40 minutos.

Para o método varredura, foi utilizada a matriz de distâncias reais entre os produtores, no momento da aplicação do método utilizando o *Google Maps*. No entanto, diante da dificuldade prática de obtenção destas distâncias em algumas situações, optou-se por utilizar as distâncias de *haversine* para construção da matriz de distâncias utilizada na aplicação do modelo PVR.

2.3 Método varredura

Esse método é utilizado quando em um determinado espaço geográfico existem muitos clientes, exigindo uma alta velocidade de resposta na formatação de cargas devido ao pouco tempo para operacionalizar o processo de distribuição. Também é adequado quando existe restrições como capacidade de carga, tempo de entrega, horário de maior fluxo no trânsito e flexibilidade. É um método de fácil utilização e pode ser realizado por meio computacional, adotando métodos heurísticos para resolução de problemas de roteirização. Para sua aplicação, os pontos de demanda são subdivididos em menores grupos, categorizando o problema em diversos subproblemas menores, permitindo a redução do tempo computacional e, conseqüentemente, tornando-se mais eficiente, pois a rotina de distribuição das empresas exige um modelo ágil e ao mesmo tempo eficiente (BALLOU, 2006; NOVAES, 2015, PICCIRILLO; *et al*, 2015).

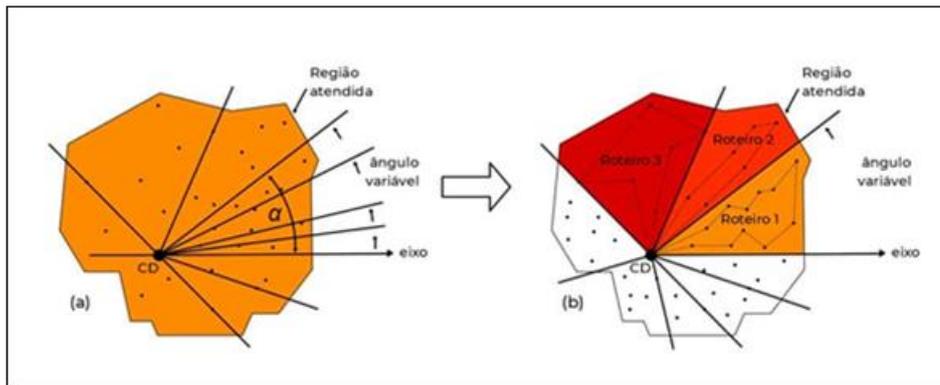
Segundo Tsuda (2007) este método apresenta aplicabilidade bastante simples podendo ser utilizada em plataforma digitais normalmente utilizadas pelas empresas, como planilhas eletrônicas.

O método varredura visando a criação de rotas para coleta de dejetos das propriedades rurais, considerou como ponto de partida de uma central de biodigestão compartilhado localizado pelo método de centro de gravidade nas coordenadas geográficas Latitude 24°66'05.0008"S e Longitude 53°81'91.1945"W, a partir do qual foi estabelecido um eixo horizontal passando pelo mesmo (Figura 1).

Posteriormente, esse eixo é girado em torno do ponto central (biodigestor) no sentido anti-horário até a linha que inclua um ponto de distribuição (ou de demanda). Em seguida, verifica-se esse ponto, identificando se o volume de dejetos a ser transportado excede o limite da capacidade do veículo e se o tempo de atendimento excede a jornada de trabalho permitida por dia. Este ponto será incorporado no roteiro

se ambas as restrições não forem violadas. Esse processo continua até que um novo ponto não possa ser incluído no roteiro, neste caso, o roteiro é fechado e inicia-se um novo. O processo termina quando todos as propriedades tiverem sido incluídas (Ballou, 2006), o qual pode ser visualizado no exemplo da Figura 1.

Figura 1: Exemplo Método Varredura



Fonte: Maplink (2020)

O método varredura é considerado um método heurístico com objetivo de obter a solução dos problemas de roteirização em duas etapas, sendo a primeira etapa de agrupamento dos pontos de demanda, definidos neste estudo como produtores rurais, e a segunda etapa é a solução independente de cada grupo, sendo chamadas de rotas.

Assim, o método varredura foi utilizado para otimizar o descolamento dos caminhões que irão percorrer a região onde os produtores estão localizados para a coleta dos dejetos e transportar até uma central de biodigestão compartilhado.

2.4 Problema de roteirização de veículo (PRV)

Segundo Carvalho *et al.* (2003), o problema de roteamento de veículos (PRV) é caracterizado por um conjunto de clientes ou consumidores de uma localidade, cada qual com sua respectiva demanda, um depósito ou centro de distribuição e uma frota de veículos. Neste problema o objetivo é estabelecer quais veículos irão atender os clientes de forma que sejam minimizados os custos de transporte.

O problema de roteamento de veículos (PRV) visa criar rotas ou caminhos para os veículos, determinando em quais pontos devem ser visitados, considerando algumas restrições e otimizando uma função objetivo de interesse, como minimização de custos, tempo ou a máxima capacidade do veículo (PÓVOA *et al.*, 2005)

Dentre os problemas e complexidade existente para identificar um modelo que represente a operação real, deve-se levantar os dados relacionados a janela de tempo, frota de capacidade variada, vários depósitos e turnos de trabalho, onde muitas vezes não são considerados e incorporados nos modelos (BODIN, 1990).

O modelo matemático utilizado no problema de roteirização de veículos considera o depósito como o nó 0 e os clientes são numerados de 1 a n . Sendo x_{ij}^v uma variável indicando se o veículo v irá ou não percorrer a rota do cliente i para o j (no caso, propriedade i para j) e c_i^v o custo desta viagem, o objetivo do modelo de PRV é minimizar o custo total (Z) de deslocamento dado pela equação 1. As restrições 2 e 3 asseguram que cada cliente é servido exatamente uma vez. A continuidade da rota é garantida pela restrição 4, no qual se um veículo chega ao ponto de entrega, deve também partir daquele ponto. A restrição 5 é a restrição da capacidade do veículo. A restrição 6 limita o máximo comprimento da rota. As restrições 7 e 8 asseguram que cada veículo é usado não mais do que uma vez.

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=0}^k c_i^v x_{ij}^v \quad (1)$$

sujeito as restrições

$$\sum_{i=0}^n \sum_{\lambda=1}^k x_{ij}^v = 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{\lambda=1}^k x_{ij}^v = 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij}^v - \sum_{j=0}^n x_{pj}^v = 0 \quad p = 1, \dots, n \quad e \quad \lambda = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^n q_j \left(\sum_{j=0}^n x_{ij}^v \right) \leq Q_\lambda \quad \lambda = 1, \dots, n \quad e \quad j = 0, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{j=0}^n y_i^v \left(\sum_{v=1}^k x_{ij}^v \right) + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n t_{ij}^v x_{ij}^v \leq T_v \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0j}^\lambda \leq 1 \quad \lambda = 1, \dots, k \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0}^\lambda \leq 1 \quad \lambda = 1, \dots, k \quad (8)$$

$$x_{ij}^v \in \{0,1\} \quad \forall i,j,k \quad (9)$$

sendo que:

n = número de clientes;

k = número de veículos;

c_{ij}^v = custo da viagem do nó i para o nó j , no veículo v

$x_{ij}^v = \begin{cases} 1, & \text{se o veículo viaja do nó } i \text{ ao nó } j \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

q_i = tamanho do pedido do cliente i ;

Q_v = capacidade do veículo v

t_{ij}^v = tempo de viagem do nó i para o nó j para o veículo v

Dentre os métodos do problema de roteirização de veículo (PRV), também destacam os métodos de solução exatos, que normalmente na sua aplicação é utilizado de forma generalizada o método do caixeiro viajante, pertencente a classe de métodos chamados de *NP-Difícil*, onde é dada pouca atenção, pois busca uma solução ótima e demandam muitos recursos computacionais e, também, um elevado tempo para a execução do algoritmo (TROTTA, 2004). Devido a essa complexidade, para este estudo será utilizado a heurística do vizinho mais próximo que visam também encontrar soluções ótimas, exigindo menos recursos computacionais.

2.5 Heurística do Vizinho mais próximo (VMP)

Arenales et al. (2015) destaca que a heurística do vizinho mais próximo constrói a solução por meio de uma sequência de decisão, visando obter uma solução ótima,

com base em uma matriz para a distância entre os pontos. Essa heurística é construída com base nas distâncias entre esses pontos, utilizando um sequenciamento dos pontos mais próximos da origem, sendo adicionados novos pontos segundo sua proximidade em relação ao último ponto adicionado, respeitando as restrições no modelo quanto ao tempo da rota e o limite de capacidade do veículo, gerando assim as roteirizações.

Arruda (2017) caracteriza a heurística do vizinho mais próximo pela escolha de um ponto mais próximo, sempre que ocorre o deslocamento até que os locais identificados sejam atendidos na sua totalidade, desta forma começa o algoritmo pelo ponto i ($i = 1, 2, \dots, n$), em seguida ligue o ponto i com o ponto j ($j = 1, 2, \dots, n$), sendo j o ponto mais próximo de i . Repita o procedimento até que seja concluído o circuito com os n pontos.

Para aplicação deste método foi utilizado o ambiente computacional R (R CORE TEAM, 2020), onde foram realizadas 10.000 simulações com sorteio aleatório do primeiro ponto a ser visitado e escolha dos novos pontos pela proximidade, visando obter as rotas que minimizam a distância total para percorrer todos os pontos, considerando as restrições de tempo de capacidade.

3 RESULTADOS

3.1 Método Varredura

O método varredura foi executado por meio da plataforma Google Maps, tendo como referência as estradas rurais para obtenção das distâncias entre os pontos/propriedades.

Para exemplificar as etapas deste método (Figura 1), a primeira sequência para definição das rotas pode ser observada na Tabela 1. Esta sequência não atendeu a restrição de tempo de trabalho do motorista (máximo de 8 horas), percorrendo 98,09 kg em 12,452 horas (ou 747,137 minutos). No entanto, a carga do veículo ficou abaixo da capacidade máxima estipulada de 7000 kg, ou seja, essa rota atendeu uma demanda de 4985 kg de dejetos.

Assim, a primeira tentativa de definir uma rota pelo método varredura, resultou no caminhão partindo uma central de biodigestão compartilhado e seguindo, na

sequência, para os produtores enumerados por 202, 64, 63, 110, 52, 14, 21, 32, 265, 49, 246, 57, 58, 268, 75 e 12, retornando, em seguida ao ponto de partida. Os dados desta rota estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Operação para criação de Rotas (Não atendendo as restrições)

Operação Rota 1								
Saída Biodigestor	Produtor 202	Produtor 64	Produtor 63	Produtor 110	Produtor 52	Produtor 14	Produtor 21	Produtor 32
KM	14,50	3,13	3,16	4,57	1,97	9,59	6,87	9,37
Tempo (Minutos)	21,75	4,70	4,74	6,86	2,96	14,39	10,31	14,06
Tempo Desc./Carreg. (Minutos)	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
Tempo Total (Minutos)	56,75	39,70	39,74	41,86	37,96	49,39	45,31	49,06
Carga (KG)	310,00	320,00	330,00	330,00	370,00	310,00	310,00	310,00



(Sequência do transporte)

Continuação na tabela a seguir (saindo do produtor 32 para o 265)

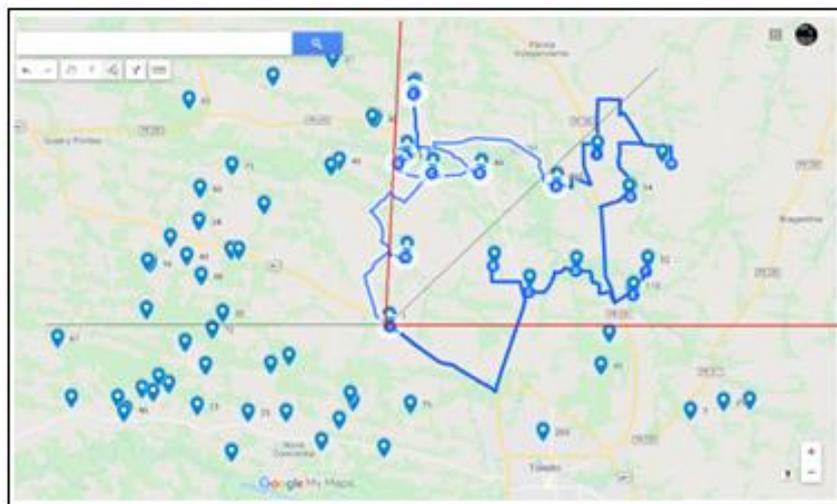
Produtor 265	Produtor 49	Produtor 246	Produtor 57	Produtor 58	Produtor 268	Produtor 75	Produtor 12	Chegada Biodigestor	TOTAL
5,89	10,60	2,74	4,75	0,30	4,17	0,73	9,64	6,11	98,09
8,84	15,90	4,11	7,13	0,45	6,26	1,10	14,46	9,17	
35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	40,00	
43,84	50,90	39,11	42,13	35,45	41,26	36,10	49,46	49,17	747,14
325,00	335,00	255,00	270,00	355,00	360,00	175,00	320,00		4985,00
Tempo total (Horas)									12,45

Fonte: Próprio autor

Geograficamente, esta rota pode ser visualizada na Figura 2, onde foi utilizado recursos do Google Maps, desta maneira as distâncias apresentadas nas rotas da

Tabela 1 são calculadas pelas estradas e suas respectivas distâncias entre as propriedades.

Figura 2 – Mapa de roteirização da operação de rota 1



Fonte: Próprio autor

Com o não atendimento da restrição de tempo da rota inicial, na Figura 4 observa-se uma nova rota (operação Rota 1 corrigida), com a correção da rota inicial e atendendo todas as restrições do problema. Para isso necessitou-se recalculer um novo trajeto o qual pode ser visualizado na Tabela 2. Nesta nova rota foi percorrido 43,41 km com um tempo total de deslocamento de 7,58 horas (ou 455,115 minutos), atendendo uma demanda de 3130 kg.

Tabela 2 – Operações para criação da Rota 1 - Método de Varredura

Saída Biodigestor	64	63	110	52	14	19	21	32	265	202	Chegada Biodigestor	TOTAL
KM	8,40	2,91	3,58	1,75	4,35	0,07	2,68	3,79	2,97	5,91	7,00	43,41
Tempo (Minutos)	12,60	4,37	5,37	2,63	6,53	0,11	4,02	5,69	4,46	8,87	10,50	
Tempo Desc./ Carreg. (Minutos)	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	40,00	
Tempo Total (Minutos)	47,60	39,37	40,37	37,63	41,53	35,11	39,02	40,69	39,46	43,87	50,50	455,12
Carga (KG)	320,00	330,00	330,00	370,00	310,00	225,00	310,00	310,00	325,00	310,00		3140,00
											Tempo Total (horas)	7,58

restrições de tempo do transporte por rota, que não deve ultrapassar 8 horas, e as demandas são limitadas conforme a capacidade do veículo, neste caso foi estipulado 7.000 kg.

Tabela 3 - Resumo das roteirizações com aplicação do método Varredura, partindo do ponto de centro de gravidade.

Distribuição das Rotas propriedades	Qtde Propriedades	Demanda Rota	Distância Rota	Tempo Rota
Rota 1: 64 63 110 52 14 19 21 32 265 202	10	3140	43,10000	7,58000
Rota 2: 12 49 38 58 57 268 75 246	8	2325	53,63000	6,67000
Rota 3: 86 45 256 82 37 43 62 73 61	9	3001	43,63000	7,00000
Rota 4: 50 34 51 16 42 44 68 24 55	9	2730	49,93000	7,16000
Rota 5: 35 72 69 67 59 27 28 5 60	9	3027	46,28000	7,07000
Rota 6: 66 8 9 48 46 65 30 23 25	9	2739	35,59000	6,80000
Rota 7: 17 22 54 31 74 31 6 4 71	9	2404	40,01000	6,91000
Rota 8: 33 15 106 13 53 56 260	7	2055	100,88000	7,27000
Rota 9: 20 2 26 70 11 36 29	7	2025	87,24000	6,93000
Rota 10: 7 41 10	3	1010	22,43000	2,97000
	Total	24456	522,72	66,36

Fonte: Próprio autor

Na Tabela 3 são apresentas todas as rotas obtidas pelo método varredura partindo do centro de gravidade, observando que foi necessária estipular 10 rotas para atender todas as propriedades, resultando em uma distância total percorrida de 522,72 quilômetros (km) com tempo total de 66,36 horas. Outro fator a ser destacado é que, devido a limitação de tempo de trabalho, o veículo percorreu todas as rotas sempre com ocupação da carga abaixo de sua capacidade, com 14,4% de ocupação na rota 10 (menor ocupação) até no máximo 44,7% na rota 1, desta forma podendo ser avaliado a possibilidade de utilização de um veículo com menor capacidade.

3.2 Problema de roteirização de veículos pela Heurística do vizinho mais próximo

A heurística do vizinho mais próximo foi implementada no ambiente computacional R, utilizando a matriz de distâncias obtida pela fórmula de *haversine* disponível no Apêndice A.

Inicialmente, foi realizada a roteirização pelo PRV partindo de uma central de biodigestão compartilhado localizado pelo método de centro de gravidade, mais especificamente nas coordenadas (latitude $\bar{x} = 24^{\circ}66'05.0008''S$ e longitude $\bar{y} =$

53°81'91.1945") A quantidade de propriedades atendidas, as demandas, distâncias percorridas e os tempos totais de cada rota podem ser observadas na Tabela 4.

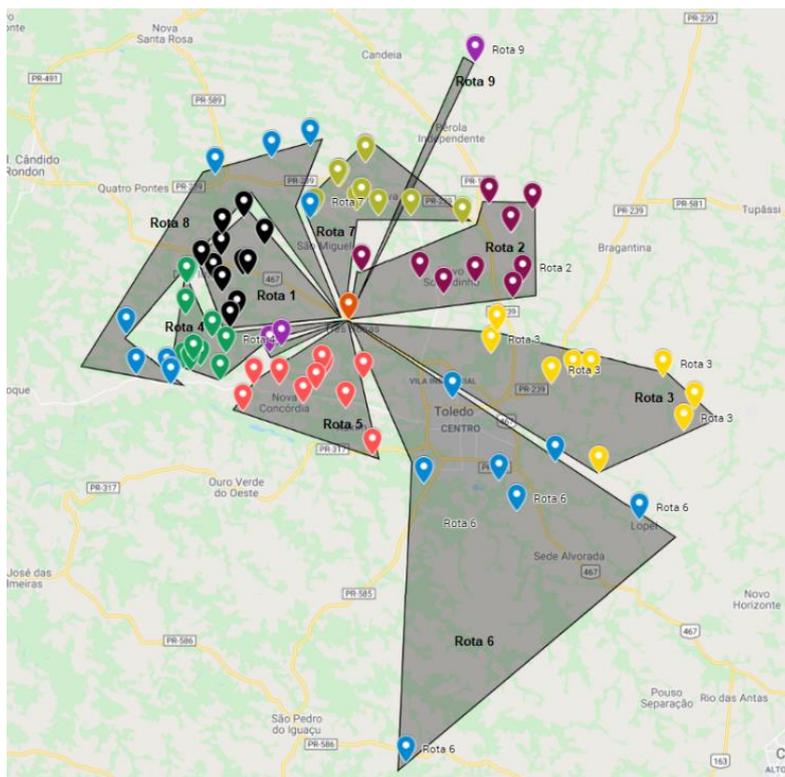
Tabela 4 – Resumo da roteirização com aplicação do método PRV com heurística do vizinho mais próximo, partindo do ponto de centro de gravidade.

Distribuição das Rotas propriedades	Qtde Propriedades	Demanda Rota	Distância Rota	Tempo Rota
Rota 1: 24 34 35 44 50 51 55 61 68 72 73	11	3423	39,66	7,99
Rota 2: 12 14 19 21 32 52 63 64 110 202	10	3135	46,53	7,58
Rota 3: 41 20 26 7 10 11 29 36 70	9	2760	70,13	7,59
Rota 4: 8 16 23 27 28 30 42 65 66 69	10	3312	43,46	7,50
Rota 5: 33 4 6 17 22 25 31 54 71 74	10	2864	45,90	7,56
Rota 6: 15 53 106 13 2 56 260	7	2060	110,29	7,42
Rota 7: 45 49 57 58 75 82 246 256 265 268	10	3140	45,14	7,55
Rota 8: 9 37 43 46 48 59 62 67 86	9	2850	67,42	7,52
Rota 9: 5 38 60	3	912	62,97	3,91
	Total	24456	531,49	64,62

Fonte: Próprio autor

Na Figura 4 é possível visualizar o mapa com as 9 rotas obtidas para este cenário (coleta de dejetos partindo de uma central de biodigestão compartilhado localizado pelo método de centro de gravidade).

Figura 4: Mapa de todas as Rotas, utilizando método PRV Vizinho mais próximo partindo do centro de gravidade.



Fonte: Próprio autor

Pode-se observar que as 9 rotas atenderam as demandas dentro do limite de tempo de 8 horas, com a rota 1 atendendo o maior número de propriedades (11 propriedades) em 7,99 horas, porém, com uma menor distância percorrida. Já a rota 9 atendeu apenas 3 propriedades, mas totalizando a quarta maior distância percorrida (Tabela 4).

Na Tabela 5 pode-se observar o resultado da roteirização pelo método PRV com a heurística do vizinho mais próximo, considerando como ponto de partida a propriedade localizada pelo método de localização de nó central pelo centro de gravidade (propriedade 12).

Tabela 5: Resumo da roteirização com aplicação do método PRV – heurística do vizinho mais próximo, partindo da localização de ponto central pelo centro de gravidade.

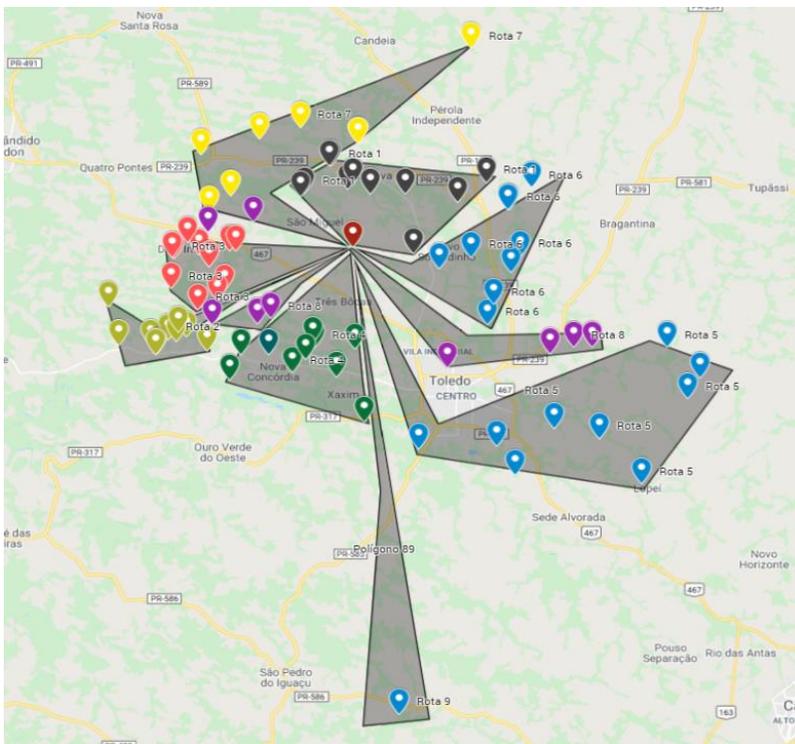
Distribuição das Rotas propriedades	Qtde Propriedades	Demanda Rota	Distância Rota	Tempo Rota
Rota 1: 32 45 49 75 82 86 202 246 256 265 268	11	3330	39,96	8,00
Rota 2: 8 9 23 30 46 48 59 65 66 67	10	3279	49,89	7,66
Rota 3: 16 24 27 35 42 44 51 55 68 69 72	11	3495	37,33	7,93

Rota 4: 33 4 6 17 22 25 31 54 71 74	10	2864	53,59	7,76
Rota 5: 15 106 13 2 20 56 26 11 70	9	2595	85,54	7,97
Rota 6: 41 10 14 19 21 52 63 64 110	9	2875	54,87	7,20
Rota 7: 37 38 43 0 57 58 62 73	9	2451	75,13	7,71
Rota 8: 5 7 28 29 34 36 60 61 260	9	2962	75,19	7,71
Rota 9: 53	1	285	85,31	3,30
Total		24136	556,81	65,25

Fonte: Próprio autor

É importante destacar que o total da demanda, somando as demandas atendidas por cada rota, foi de 24136 kg. Esse valor é menor que o volume demandado apresentado na Tabela 4, pois a operação foi iniciada a partir do ponto ou propriedade 12, ou seja, a localização de nó central pelo centro de gravidade, desta forma não é necessário a coleta do dejetos neste ponto, o qual apresenta uma demanda de 320 quilos. Outra característica desse método está na rota 9 que atendeu apenas um ponto, porém com a segunda maior distância total percorrida (Tabela 5).

Figura 5: Mapa de todas as Rotas, utilizando método PRV Vizinho mais próximo partindo da localização de nó central pelo centro de gravidade.



Fonte: Próprio autor

Na Figura 5 é possível observar a distribuição das 9 rotas necessárias para o atendimento total das 79 propriedades rurais, partindo de uma central de biodigestão compartilhado localizado pelo método de localização de nó central pelo centro de gravidade (Propriedade 12).

A Tabela 6 apresenta os resultados do método PRV partindo de uma central de biodigestão compartilhado localizado pelo método $p_mediana$ ponderado pelas distâncias, onde para o atendimento total das demandas, foi necessária a criação de 9 rotas. Destaca-se que a demanda total atendida pelas rotas foi inferior a 24456 kg (demanda das 79 propriedades), pois volume demandado pelo ponto de partida não foi considerado na roteirização (Propriedade 60), o qual apresentava uma demanda de 360 kg, somando um total de 24096 kg.

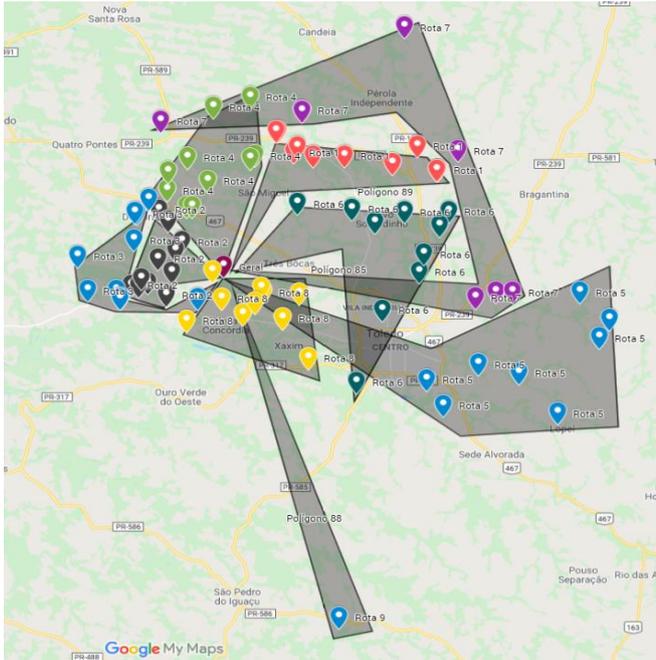
Tabela 6: Resumo das roteirizações com aplicação do método PRV, partindo do ponto de $p_mediana$ ponderado pelas distâncias.

Distribuição das Rotas propriedades	Qtde Propriedades	Demanda Rota	Distância Rota	Tempo Rota
Rota 1: 14 19 32 49 75 82 246 256 265 268	10	3000	55,68	7,81
Rota 2: 8 23 27 28 30 35 44 65 66 68 72	10	3503	32,03	7,80
Rota 3: 9 16 25 42 46 48 51 59 67 69	11	3141	38,52	7,96
Rota 4: 24 34 37 43 45 50 55 61 73 86	10	3161	48,55	7,63
Rota 5: 106 13 2 20 56 26 11 70	8	2265	89,93	7,50
Rota 6: 41 15 10 12 52 63 64 110 202 260	10	3250	62,02	7,97
Rota 7: 7 21 29 36 38 57 58 62	9	2520	97,84	7,70
Rota 8: 33 4 5 6 17 22 31 54 71 74	10	2971	39,03	7,98
Rota 9: 53	1	285	75,13	3,04
	Total	24096	538,73	65,38

Fonte: Próprio autor

Verifica-se a distribuição das rotas no mapa apresentado na Figura 6. Pode-se observar que a rota 7 apresentou a maior distância entre os pontos totalizando 9 propriedades e 97,84 km, com o tempo de 7,70 horas (Tabela 6), os pontos estão afastados do centro o que justifica a maior distância da rota, já a rota que apresenta a menor distância, rota 2, totaliza 32,02 km, com 10 propriedades, porém com o tempo de 7,80 horas.

Figura 6: Mapa de todas as Rotas, utilizando método PRV Vizinho mais próximo partindo do ponto $p_mediana$ ponderado pelas distâncias



Fonte: Próprio autor

O resumo das roteirizações com aplicação do método PRV, partindo de uma central de biodigestão compartilhado localizado na propriedade 74 (com demanda de 310 kg não sendo necessário acrescentar na roteirização), identificada como mais adequada pelo método $p_mediana$ ponderado pelas distâncias e demanda pode ser observado na Tabela 7. Destaca-se que neste cenário também foi necessário a criação de 9 rotas para atender as propriedades, atendendo as restrições de tempo, capacidade do veículo.

Tabela 7: Resumo das roteirizações com aplicação do método PRV, partindo do ponto de $p_mediana$ ponderado pelas distâncias e demandas.

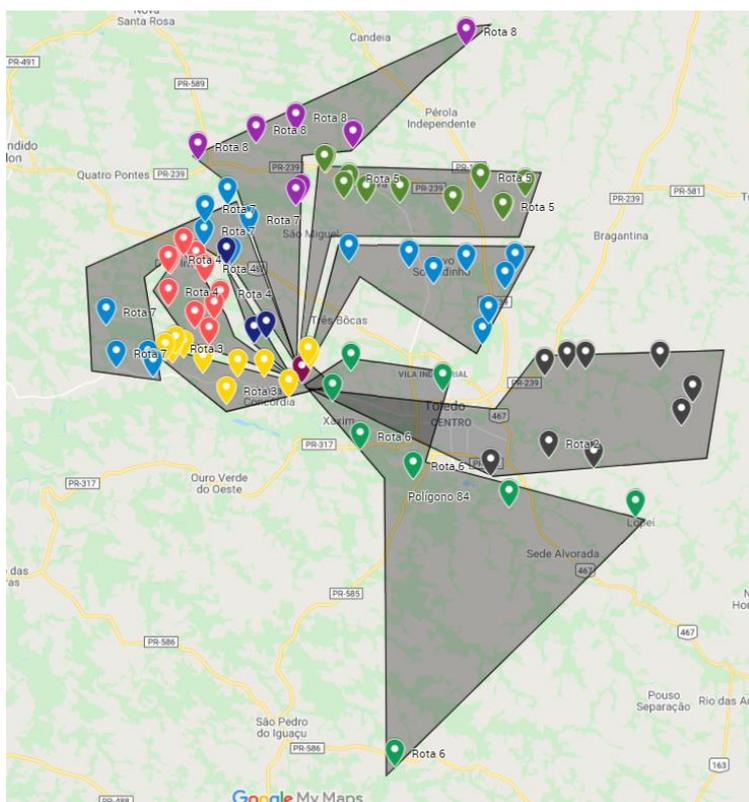
Distribuição das Rotas propriedades	Qtde Propriedades	Demanda Rota	Distância Rota	Tempo Rota
Rota 1: 41 10 12 52 63 64 110 202 246 268	10	3275	63,12	7,99
Rota 2: 106 20 56 26 7 11 29 36 70	9	2695	70,81	7,60
Rota 3: 4 6 17 22 23 25 30 54 65 66	10	3054	30,31	7,76
Rota 4: 8 16 27 28 35 42 44 51 68 69 72	11	3465	39,46	7,99
Rota 5: 14 19 21 32 49 75 82 256 265	9	2695	62,85	7,40
Rota 6: 33 15 53 13 2 31 71 260	8	2295	109,58	7,99
Rota 7: 9 34 46 48 50 55 59 61 67 73	10	3239	52,07	7,72
Rota 8: 36 38 43 45 57 58 62 86	8	2451	90,15	7,50
Rota 9: 5 24 60	3	977	25,05	2,96
Total		24146	543,39	64,92

Fonte: Próprio autor

Destaca-se que rota 6 com 8 propriedades apresentou a maior distância para o atendimento 109,58 km, com o tempo de 7,99 horas (Tabela 7).

Na Figura 7, pode-se verificar a distribuição das rotas no mapa.

Figura 7: Mapa de todas as Rotas, utilizando método PRV Vizinho mais próximo partindo do ponto $p_mediana$ ponderado pelas distâncias e demandas



Fonte: Próprio autor

A roteirização para coleta dos dejetos nas propriedades, partindo do biodigestor localizado pelo método $p_mediana$ ponderado pelas distâncias, demanda e custo (propriedade 75 com demanda de 24281 kg) é apresentada na Tabela 8. Observa-se que foi necessário a criação de 9 rotas para atender as propriedades, considerando as restrições de tempo e capacidade do veículo que em cada rota utilizou-se aproximadamente 45% da sua capacidade

Verifica-se também que a rota 9 apresenta o menor número de propriedades, porém com a maior distância, totalizando em 101,22 km.

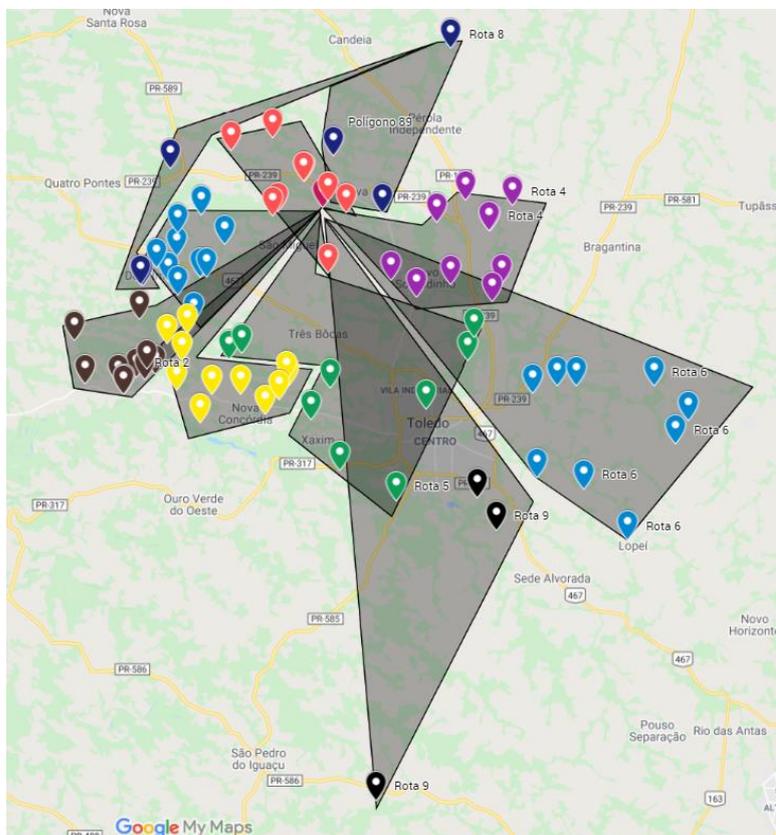
Tabela 8: Resumo das roteirizações com aplicação do método PRV, partindo do ponto de $p_mediana$ ponderada pelas distâncias, demandas e custos.

Distribuição das Rotas propriedades	Qtde Propriedades	Demanda Rota	Distância Rota	Tempo Rota
Rota 1: 24 34 35 44 50 51 55 61 68 73	10	3063	40,74	7,44
Rota 2: 8 9 30 46 48 59 65 66 67 69	10	3294	53,42	7,75
Rota 3: 4 6 17 22 23 25 27 28 54 74	10	2999	49,13	7,65
Rota 4: 14 19 21 32 52 63 64 110 202 265	10	3140	45,96	7,57
Rota 5: 41 33 15 5 10 31 60 71 260	9	2777	66,59	7,50
Rota 6: 2 20 56 26 7 11 29 36 70	9	2600	83,89	7,93
Rota 7: 12 37 43 45 58 82 86 246 256 268	10	3236	38,48	7,96
Rota 8: 16 38 42 49 57 62 72	7	2222	80,11	6,67
Rota 9: 53 106 13	3	950	101,22	4,86
	Total	24281	559,55	65,32

Fonte: Próprio autor

Na Figura 8 é possível observar a distribuição das rotas, onde para o atendimento total foram necessárias 9 rotas.

Figura 8: Mapa de todas as Rotas, utilizando método PRV Vizinho mais próximo partindo do ponto $p_mediana$ ponderado pelas distâncias, demandas e custos



Fonte: Próprio autor

Pode ser visualizado na Tabela 9 um resumo dos resultados da roteirização utilizando o método varredura e o método do problema de roteirização de veículos (PRV), utilizando a heurística do vizinho mais próximo, considerando diferentes localidades para o biodigestor compartilhado, identificados pelos cinco métodos de localização (centro de gravidade, localização de nó central pelo centro de gravidade, p -medianas ponderado pela distância, p -mediana ponderado pela distância e demandas, p -mediana ponderado pela distância, demanda e custos).

Tabela 9: Resumo dos resultados da roteirização, considerando as diferentes localizações geográficas para o biodigestor compartilhado.

Método de Roteirização	Métodos de localização do biodigestor central compartilhado	Demanda Total	Distância Total	Tempo Total
Varredura	Centro de gravidade	24456	522,72	66,36
	Centro de gravidade	24456	531,49	64,62
PRV com heurística do vizinho mais próximo	Localização de nó central pelo centro de gravidade	24136	556,81	65,25
	p -mediana ponderado pela distância	24096	538,73	65,38
	p -mediana ponderado pela distância e demanda	24146	543,39	64,92
	p -mediana ponderado pela distância, demanda e custos de transporte	24281	559,55	65,32

Fonte: Próprio autor

O modelo PRV baseado na heurística do vizinho mais próximo, partindo de um biodigestor localizado pelo centro de gravidade, apresentou a melhor resposta considerando a minimização do tempo total das rotas a serem percorridas pelo veículo para realizar as coletas dos dejetos. Um fator importante apresentado neste modelo foi a necessidade da criação de nove rotas para atender todas as propriedades, resultando no menor tempo total, ou seja, de 64,62 horas, porém, vale ressaltar que ao utilizar o centro de gravidade, buscou-se a melhor localização dentro de um espaço geográfico, correndo-se o risco deste ponto ser em um local impróprio para a alocação do centro biodigestor compartilhado, assim o produtor rural caso ocorra esta situação pode optar na adoção de outros pontos que também apresentam respostas significativas para o atendimento das coletas.

Outro ponto relevante nos resultados refere-se ao método varredura, o qual apresentou o maior valor no tempo total para percorrer as dez rotas necessárias para atender todas as propriedades, porém, na distância total apresentou o menor valor. Esse fato ocorre devido a diferença dos métodos de distância, sendo o método

varredura baseado nas distâncias de rodovias e o método *p_medianas* nas distâncias de *haversine*. Desta forma, deve ser considerado também o processo para elaboração dos modelos, onde o método varredura depende muito do processo manual para a criação de rotas, já o processo PRV, aplicado com o método do vizinho mais próximo, utilizou uma heurística computacional visando obter o melhor resultado através do processamento automatizado para a criação das rotas, gerando assim maior confiabilidade no modelo.

Pereira et al. (2012), utilizaram a heurística de Clark Wright para roteirização de 380 propriedades rurais, utilizando o mesmo tipo de veículo deste estudo, ou seja, um caminhão modelo T13. No entanto, as propriedades foram agrupadas em três setores: S1 com 139 propriedades atendidas, S2 com 11 propriedades e S3 com 129 propriedades. Para atender as propriedades do setor S1 foi necessário utilizar 58 rotas, percorrendo uma distância total de 4490,40 km, ou seja, em média, 77,42 km por rota. Já o setor S2 totalizou 2715,36 km percorridos em 47 rotas, resultando em um média de 57,77 km por rota. Enquanto no setor S3 foi necessário percorrer 4921,43 km em 51 rotas, produzindo uma média de 96,5 km por rota.

Estes resultados indicaram que a heurística de Clark Wright, utilizada por Pereira et al. (2012), apresentou resultados de distância percorrida em cada rota superiores à média observada neste estudo ao utilizar a heurística do vizinho mais próximo, partindo de um biodigestor compartilhado localizado pelo método do centro de gravidade, ou seja, a qual apresentou uma média de 59,05 km percorrido por rota. No entanto, vale ressaltar que em Pereira et al. (2012) a localização do biodigestor não foi otimizada, ou seja, partiu-se de uma central de biodigestão compartilhado em uma localização pré-determinada, além de ter utilizado uma capacidade de carregamento e descarregamento diferente.

4 CONCLUSÕES

Comparando os métodos aplicados de varredura e o PRV com a heurística do vizinho mais próximo, pode-se perceber que quando se utiliza um sistema de otimização automatizado para a geração das rotas, observa-se diversas vantagens tais como: Confiabilidade na geração da informação, maior assertividade no distanciamento das rotas, maior agilidade para o processamento da informação.

Todos os modelos otimizados apresentaram a vantagem de permitir a coleta em 9 rotas representando uma vantagem significativa em um dia de trabalho.

Percebe-se também que na criação das rotas é importante para os produtores rurais não ficar restrito em apenas um único local caracterizado como centro, ou seja, pode-se ao longo do tempo modificar esse centro para a região que apresenta maior vantagem competitiva.

Também cabe ressaltar que ambos os métodos visam a otimização de rotas e de recursos e podem ser aplicados em diversas áreas, não se limitando apenas para produtores rurais.

REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 2

ALMEIDA, L. A. **Teoria dos Grafos e o Problema do Carteiro Chinês**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao colegiado do curso de Licenciatura em Matemática da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – Campus de Vitória da Conquista, 2018

ARAUJO, R. R.; **Um modelo de resolução para o problema de roteirização em arcos com restrição de capacidade**. Dissertação (Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003

ARENALES, M. *et al.* **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, ABEPRO, 2011

ARENALES, M. *et al.* **Pesquisa Operacional**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, ABEPRO, 2015

ARRUDA, H. A.; **Extensão do método de predição do vizinho mais próximo para o modelo Poisson misto**. Dissertação (Mestre em Estatística) Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de suprimentos/logística empresarial**. Tradução de Raul Rubenich. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BELFIORE, P. P.; *et al.* **Problema de roteirização de veículos com entregas fracionadas: revisão da literatura**, XIII SIMPEP, Bauru, SP 2006.
Disponível em: https://simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/674.pdf
Acesso em: 02 nov. 2020

BERTAGLIA, P. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.

BODIN, L. D. **Twenty Years of Routing and Scheduling**. *Operations Research*, 1990. *Operations Research* Disponível em: <https://doi.org/10.1287/opre.38.4.571>
Acesso em 10 nov. 2020

BRANDÃO, B. **Os 3 principais métodos de roteirização Logística**, 2020
Disponível em: <https://maplink.global/blog/metodos-roteirizacao-logistica/2020>
Acessado: 29/10/2020

CARVALHO, D.B.F; *et al.* **Método de Pesquisa em Vizinhança Variável aplicado à resolução do Problema de Roteirização de Veículos**. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, XXXV, 2003, Natal. Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional SBPO. Disponível em: http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-producao/wp-content/uploads/sites/13/2013/04/disserta%C3%A7%C3%A3o_Jeandersoon.pdf.
Acesso em 16 out. 2020

CUNHA, C. B. da. **Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais**. *Transportes*, Rio de Janeiro, v. no 2000, n. 2, p. 51-74, 2000. DOI: 10.14295/transportes.v8i2.188. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/188>. Acessado em: 26 out 2020

HARRISON, A.; *et al.*; **Estratégia e Gerenciamento de Logística**. São Paulo: Futura, 2003.

LOURENÇO. D. A.; **Otimização de rotas de coleta de resíduos sólidos em uma área urbana: O caso da cidade de Campina Grande – PB**. Dissertação (Mestre pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande – PB, 2016

MARQUES, V. J. A. **Um método heurístico de distribuição. Estudo de caso: distribuição de sementes a partir de um Centro de Distribuição**. Dissertação (Mestre pelo Programa de Pós Graduação em Logística do Departamento de Engenharia Industrial). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MAPLINK. **3 Métodos de roteirização logística: otimize suas operações**. São Paulo, SP, 2020. Disponível em: <https://maplink.global/blog/metodos-roteirizacao-logistica/>. Acessado em 10 nov. 2020

NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier – Campus, 2015.

PEREIRA, S.M. **Estudo dos custos operacionais e da viabilidade de implantação de um sistema de coleta de dejetos suínos para a geração de Bioenergia, no município de Toledo – PR**. Dissertação (Mestre programa de pós-graduação *Stricto Sensu* em desenvolvimento regional e agronegócio) Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNOESTE/ *Campus* Toledo - 2009

PEREIRA *et al.* **Bioenergia e resíduos na cadeia de suínos: uma análise de custos e investimentos para transporte de dejetos suínos com posterior geração de bioenergia no município de Toledo/ PR.** Revista Tecnologia e Sociedade, 1ª ed., 2012.

PICCIRILLO, I. N; *et al.* **Roteirização com o método da varredura: uma proposta para melhorar a formatação de cargas, reduzir custos e satisfazer cliente,** 2015. Espacios. Vol 37 (nº4) pag. 18. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n04/16370419.html>. Acessado em: 15 set. 2020

PÓVOA, C.L. **Heurística GRASP para o problema do roteamento de veículos com compartimentos e sua integração com o sistema de informação geográfica Geo-Rota.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ, 2005

REIS, C. C. C; *et al.* **Técnicas de pesquisa operacional aplicadas na otimização de rotas de uma rede de lojas de materiais de construção.** In ENEGP - XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2016, João Pessoa. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_31929438.pdf. Acesso em 20/03/2021

SANTORO. E.; **Otimização da rota na colheita mecanizada da cana-de-açúcar,** 2016, Dissertação (Mestre programa de pós-graduação em Engenharia de Produção) Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", UNESP, Bauru, 2016.

SOLOMON M. M., **Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints**”, Operation Research 35, pp. 254–265, 1987.

TEIXEIRA, Levi Lopes. **Roteiro de Estudos de Pesquisa Operacional.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014. Disponível em: <http://www.md.utfpr.edu.br/Intranet/professores/index.php?idusuario=158>> Acesso em 20/05/2021

TSUDA, D. S. **Modelo de roteirização de veículos em uma empresa importadora de produtos japoneses** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

VIEIRA, B. S. **Uma Meta-heurística Adaptive Large Neighborhood Search com Mecanismos de Paralelismo, Detecção de Estagnação e Perturbações para o Problema de Roteamento de Veículos com Frota Heterogênea,** 2017 Dissertação (mestrado) UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro, RJ, 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca constante em reduções de custos e melhorias nos processos principalmente nos ambientes do agronegócio tem se tornado essencial para a sobrevivência dos negócios, e nos estudos realizados, pode-se perceber que há ainda muitas ferramentas e métodos possíveis de serem explorados, podendo facilitar as tomadas de decisões.

Outro aspecto importante foi a adoção dos métodos relacionados ao transporte e distribuição de dejetos, entre os quais, os métodos de localização da melhor posição geográfica apresentado na primeira etapa e de roteirização da segunda etapa. Inicialmente, buscou-se localizar possíveis pontos para implementação do centro biodigestor compartilhado, podendo, após a avaliação de diversas características dos mesmos, adotar aquele que atenda a necessidade, conforme alternativas como: menor custo de operações, menor distância entre os pontos geográficos ou ainda combinar situações para obtenção do melhor resultado.

Já na segunda etapa, buscou-se contribuir com coleta e distribuição dos dejetos com a roteirização partindo de diversos pontos geográficos, sempre objetivando a otimização de recursos e atendendo as restrições propostas.

Também é importante ressaltar que os métodos utilizados no estudo de Localização (centro de gravidade e *p_medianas*) e roteirização (varredura e PRV com a heurística do vizinho mais próximo) podem proporcionar diversas vantagens para as organizações, tais como: redução de custos, melhorar o tempo de coleta ou entrega, aumento de disponibilidade de recursos, melhorar a alocação de recursos e principalmente dar a oportunidade de escolhas.

REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

BLEY JUNIOR, C. **Instalações para tratamento de dejetos.** In: **Ciclo de Palestras sobre Dejetos de Suínos, Manejo e Utilização, do Sudeste Goiano**, 1, 1997, Rio Verde. Anais. Rio Verde: Fundação do Ensino Superior de Rio Verde, ESUCARV. 1997.

CERVI, G. R. **Avaliação econômica do aproveitamento do biogás e biofertilizante produzido por biodigestão anaeróbica: Estudo de caso em unidade biointegrada.** 2009. Dissertação (Mestre em Agronomia, Energia na Agricultura). Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agronômica, Botucatu, 2009

PEREIRA, S.M. **Estudo dos custos operacionais e da viabilidade de implantação de um sistema de coleta de dejetos suínos para a geração de Bioenergia, no município de Toledo – PR.** Dissertação (Mestre programa de pós-graduação *Stricto Sensu* em desenvolvimento regional e agronegócio) Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNOESTE/ *Campus* Toledo - 2009

REIS, P. **Vantagem de desvantagem da energia do biogás.** Portal Energia – Energias renováveis. 2012. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-do-biogas/>. Acesso em 12 fev. 2020

Apêndice A: Matriz das distâncias de *haversine*

Prop.	41	33	15	53	106	13	2	20	56	26	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	17	19	21	22
41	0.00	3650.96	4186.48	10318.03	4095.04	4088.89	5314.27	3054.19	2680.66	4111.60	3982.45	5665.25	4521.85	1912.06	7703.36	8954.26	660.91	3895.58	4232.56	3291.39	8340.88	6994.25	2378.72	4008.17	5048.52
33	4597.51	0.00	1676.83	7626.35	4115.28	3948.23	6505.35	4292.20	3859.43	6177.13	2171.24	3736.61	2586.62	5477.22	5201.09	6076.51	5154.58	6754.87	5090.30	7041.89	6767.70	3815.78	5096.62	7858.82	2705.05
15	4313.34	1371.95	0.00	6898.59	2388.45	2470.75	5167.51	3305.74	2802.56	5239.41	3453.71	5201.34	4024.49	4604.93	6671.63	7691.59	4960.33	5877.00	6116.36	7137.93	8313.06	5732.19	5168.49	7903.57	3861.30
53	12309.23	7224.96	7987.84	0.00	9504.65	7020.33	7973.81	6612.08	7106.79	8587.89	9370.06	11117.46	10702.20	11590.77	11341.51	12582.33	12969.43	10429.64	13649.79	14512.23	14184.44	13095.15	10522.43	15223.17	7697.99
106	3763.01	3003.04	2130.24	7321.15	0.00	904.76	3452.20	1886.22	1248.36	3781.69	4804.05	6735.33	5526.87	3147.62	8373.56	9602.05	4396.52	4366.06	6922.06	6680.58	9889.13	7836.36	4840.15	7332.80	5252.25
13	4712.62	3613.64	2763.89	6782.35	1134.78	0.00	2891.55	1696.14	1307.43	3652.17	5561.70	7541.04	6386.76	3769.28	9078.28	10359.33	5324.02	4458.25	7902.79	7489.67	10754.00	8813.78	5428.41	8103.26	5782.13
2	6570.37	6387.07	6201.02	8263.77	4644.78	3101.84	0.00	1197.50	2163.63	1991.83	8190.45	10399.11	9334.10	4655.93	12009.45	13618.13	6964.64	3296.24	10310.35	8473.46	13691.56	12580.50	6148.66	8830.64	8139.31
20	4720.11	5267.70	4958.61	8565.65	3172.28	2274.37	1496.88	0.00	936.53	1879.06	6864.95	8961.68	7830.50	2886.05	10691.89	12187.01	5118.52	2615.44	8587.93	6871.23	12132.91	10817.11	4984.62	7285.36	7139.80
56	3720.10	4253.25	3774.88	8267.08	1885.28	1574.26	2428.57	840.96	0.00	2612.33	5819.14	7834.21	6653.49	2253.63	9583.35	10964.10	4215.61	3098.83	7512.21	6289.20	10963.96	9365.14	4559.65	6810.42	6263.24
26	6078.01	7251.41	7517.41	10641.52	6083.59	4684.31	2381.54	1797.36	2782.70	0.00	8587.51	10774.53	9750.51	3997.01	12589.86	14311.87	6202.23	1306.30	9916.82	7050.42	13874.52	13292.76	5120.69	7184.74	8727.92
4	4923.76	2131.76	4144.46	9710.79	6463.63	5966.19	8190.45	5491.96	5184.32	7182.28	0.00	1553.42	141.29	6434.52	3544.22	4347.92	5215.27	7584.97	3088.28	6319.38	4444.04	1491.44	4570.28	7143.30	1754.26
5	6485.48	3396.92	5779.27	10668.27	8390.82	7490.25	9628.80	6462.57	8343.91	1438.35	0.00	1523.63	8048.86	2202.89	2902.94	6677.73	8836.35	3356.52	7203.00	2849.07	1129.45	5211.41	7989.38	1296.54	
6	4959.44	2252.86	4284.13	9839.12	6596.59	6077.72	8280.25	5557.13	5258.41	7234.25	125.34	1459.74	0.00	6493.16	3492.09	4296.71	5233.02	7627.56	2977.47	6278.76	4327.80	1467.21	4540.75	7100.16	1761.07
7	1970.00	4481.36	4604.93	10010.21	3529.15	3369.50	3879.94	1924.04	1673.15	2785.79	5362.10	7243.98	6099.64	0.00	9197.63	10587.15	2210.01	2521.98	6081.54	4201.94	10104.04	8878.12	3045.81	4695.57	6125.70
8	9031.52	4842.40	7591.85	11145.96	10683.50	9234.80	11388.27	8111.09	8096.28	9985.06	3360.90	2256.06	3732.93	10466.26	0.00	479.86	9250.51	10758.22	5592.09	9493.81	2299.03	3207.34	6874.18	10260.02	1460.15
9	9513.91	5127.06	7931.95	11206.14	11102.37	9550.01	11703.08	8378.57	8394.39	10286.66	3736.50	2694.29	4162.44	10918.00	434.87	0.00	9742.77	11117.42	6069.22	9958.66	2539.47	3704.12	7211.57	10724.53	1669.34
10	660.91	4093.34	4814.44	10871.43	4784.45	4619.37	5633.17	3311.98	3037.72	4195.62	4218.24	5833.19	4771.28	2145.01	7890.14	9169.66	0.00	3869.93	4086.86	2691.76	8378.65	7314.56	1943.78	3405.83	5271.54
11	5094.23	7014.68	7459.27	11432.49	6213.24	5058.40	3486.41	2213.07	2920.05	1155.57	8022.57	10093.83	9094.40	3200.97	11999.55	13682.98	5060.68	0.00	8825.56	5622.69	13003.54	12559.90	4086.02	5688.23	8355.96
12	4497.10	4294.94	6307.50	12156.84	8003.63	7285.39	8860.46	5904.20	5751.54	7127.71	2653.99	3115.27	2884.43	6271.59	5067.83	6069.22	4342.29	7170.76	0.00	4144.31	4645.14	4567.62	2991.87	4871.73	3631.00
14	3609.91	6133.26	7598.44	13341.89	7973.59	7127.27	7516.78	4876.36	4970.50	5230.96	5605.90	6900.94	6278.76	4473.03	8881.31	10279.91	2952.26	4715.80	4278.00	0.00	8776.32	9083.11	16.59	832.16	6397.40
16	9089.42	5856.66	8792.65	12956.94	11727.49	10168.05	12067.88	8555.26	8609.52	10228.01	3917.02	2712.10	4300.05	10686.97	2136.92	2604.59	9130.58	10836.29	4764.25	8720.06	0.00	4461.99	6313.45	9393.99	2759.39
17	6258.02	2711.21	4977.96	9821.37	7630.14	6842.28	9104.31	6262.54	6038.05	8045.62	1079.33	882.76	1196.94	7709.94	2447.70	3119.26	6544.61	8593.62	3846.42	7409.90	3663.53	0.00	5361.63	8222.57	900.54
19	3594.50	6115.95	7580.45	13328.41	7959.35	7117.25	7515.03	4873.85	4964.95	5234.49	5585.90	6879.06	6256.14	4467.19	8860.05	10256.45	2937.27	4721.63	4255.10	22.85	8754.66	9055.20	0.00	853.94	6380.51
21	4396.06	6844.78	8413.48	13995.49	8752.05	7711.16	7833.63	5170.25	5382.43	5330.61	6336.80	7654.34	7100.16	4998.51	9598.08	11070.48	3735.42	4770.77	5028.89	832.16	9454.60	10079.28	619.79	0.00	7000.95
22	7463.03	3175.49	5540.13	9538.82	8449.27	7416.21	9731.78	6829.38	6671.71	8727.92	2097.49	1674.22	2373.62	8789.05	1841.05	2322.56	7792.71	9445.87	5051.82	8622.58	3743.18	1487.84	6241.81	9436.06	0.00
23	7973.22	3948.28	6501.34	10473.84	9446.65	8253.64	10468.37	7376.11	7277.78	9228.31	2476.90	1459.68	2749.07	9403.63	970.37	1472.71	8224.88	9926.15	4908.10	8724.30	2738.32	1955.39	6315.57	9512.58	768.42
24	7630.19	5178.43	7875.55	12673.58	10490.76	9218.90	11062.22	7718.99	7696.20	9265.34	3113.72	2090.07	3375.86	9296.86	2780.56	3470.71	7623.77	9697.19	3266.33	7260.29	1469.18	3803.01	5253.95	7936.74	2712.36
25	6996.75	3201.66	5589.15	10035.27	8379.37	7419.15	9670.35	6728.72	6556.85	8547.11	1677.61	930.98	1860.28	8434.07	1822.95	2420.24	7271.20	9164.03	4293.85	7985.86	3246.33	833.84	5779.61	8789.51	575.82
27	8178.23	4633.40	7328.14	11518.96	10225.71	8930.79	11012.05	7755.52	7705.04	9515.21	2829.49	1515.05	3099.72	9718.61	1078.02	1636.80	8331.47	10142.01	4481.85	8460.58	1574.26	2706.42	6124.38	9208.65	1599.08
28	7769.25	4160.03	6754.02	11023.79	9614.60	8431.99	10569.52	7415.42	7323.99	9193.87	2412.86	1121.98	2642.41	9284.72	1136.51	1733.69	7960.10	9814.80	4355.73	8280.28	2121.81	2049.09	5993.38	9049.22	1209.30
29	2516.98	5020.33	5221.24	10358.70	4075.74	3702.27	3754.81	1880.08	1842.60	2423.53	5892.65	7800.98	6694.04	662.70	9754.22	11204.64	2624.90	2013.79	6544.98	4241.22	10647.15	9617.00	3076.73	4636.27	6580.88
30	8500.95	4501.25	7178.13	11008.84	10183.36	8851.70	11011.54	7797.44	7747.21	9640.43	2942.34	1788.34	3256.82	9660.03	456.73	978.56	8716.16	10357.13	5115.88	9017.34	2230.31	2652.23	6528.33	9787.35	1236.21
31	4558.62	1256.12	3090.55	8859.26	5402.04	5084.88	7443.27	4938.30	4562.97	6701.02	893.35	2430.00	1145.12	5878.91	4182.46	5010.74	4970.76	7150.86	3808.69	6472.62	5399.45	2295.66	4682.12	7304.77	2034.15
32	4408.60	6482.47	8215.31	13948.23	8890.26	7892.17	8356.33	5537.05	5666.90	5950.45	5681.28	6786.44	6343.58	5441.32	8695.30	10072.00	3775.07	5521.88	4002.78	971.14	8357.92	9080.67	702.55	1173.22	6393.90
34	8405.37	5835.91	8690.12	13294.94	11408.78	9951.75	11735.37	8252.69	8294.40	9795.59	3789.90	2761.15	4139.39	10058.26	2989.39	3631.03	8368.57	10269.42	3879.63	7764.96	1155.91	4650.29	5620.72	8402.44	3126.13
35	7503.72	4496.90	7117.30	11733.20	9838.92	8661.00	10674.19	7450.22	7374.45	9117.97	2512.15	1210.38	2716.90	9112.39	1870.85	2517.73	7605.95	9633.71	3635.30	7657.50	1593.90	2611.70	5541.61	8393.41	1874.18
36	2998.85	5402.20	5639.58	10552.05	4438.09	3910.48	3623.83	1841.89	1967.75	2130.89	6300.92	8238.80	7153.79	1146.27	10184.23	11679.60	3057.98	1627.75	6963.93	4423.52	11092.72	10181.62	3210.66	4745.82	6922.18
37	8076.84	7380.64	10180.48	15402.18	12298.26	10709.72	11846.94	8280.20	8469.42	9317.51	5528.78	5410.32	6097.72	9637.23	6449.75	7500.77	7719.60	9457.83	3764.93	5830.50	4974.06	7934.86	4221.68	6162.98	5461.97
38	8562.37	9488.38	12116.12	17355.86	13412.80	11501.78	11577.39	8152.48	8640.62	8411.61	8303.33	9118.96	9263.06	9413.46	10609.78	12146.98	7934.31	8222.86							

Apêndice A: Matriz das distâncias de *haversine* (Continuação)

43	8636.17	7340.65	10271.92	15282.46	12637.97	10978.86	12276.43	8628.96	8811.30	9814.49	5378.03	4990.12	5922.31	10243.06	5733.81	6674.10	8353.98	10074.46	4017.26	6711.62	4060.86	7469.63	4859.84	7116.63	5079.52
44	8429.13	5535.54	8367.88	12826.78	11164.14	9736.26	11614.24	8177.51	8196.05	9794.23	3528.16	2362.77	3852.85	10058.86	2367.20	2947.66	8449.49	10322.70	4086.41	8058.51	666.04	4098.84	5833.31	8732.51	2696.86
45	6570.40	5783.42	8286.68	13705.03	10343.85	9150.38	10584.94	7278.70	7296.86	8471.35	3884.31	3722.73	4244.11	8260.17	5091.67	6049.06	6330.90	8609.23	2030.23	5247.83	3886.57	5721.56	3795.16	5798.99	4175.10
46	9368.31	4940.34	7699.21	10970.09	10857.17	9345.48	11521.60	8242.52	8243.32	10160.01	3605.58	2608.76	4021.78	10755.52	445.70	265.77	9613.09	10992.29	6040.20	9903.91	2716.68	3507.48	7171.79	10677.51	1504.81
48	9416.61	4960.19	7721.43	10954.78	10887.89	9366.59	11544.53	8263.85	8267.24	10186.50	3642.71	2658.36	4065.02	10798.12	501.08	285.04	9664.12	11026.35	6098.94	9958.45	2767.06	3556.10	7211.37	10732.74	1520.65
49	4678.38	5672.37	7663.41	13495.07	8941.94	8014.45	9056.98	6050.84	6051.84	6894.23	4356.84	5033.56	4819.26	6233.87	6867.96	8048.91	4233.11	6716.78	2077.03	2709.32	6251.57	7025.86	1953.43	3248.38	5123.56
50	8629.59	6247.65	9160.44	13804.34	11852.18	10317.67	12013.12	8460.33	8539.06	9948.09	4195.94	3273.26	4593.45	10285.70	3526.12	4205.25	8544.63	10396.99	3976.85	7719.22	1622.37	5314.33	5588.08	8315.69	3561.85
51	8848.42	5931.49	8850.51	13220.90	11692.88	10161.06	11996.52	8477.95	8533.86	10086.00	3928.60	2797.63	4303.33	10475.03	2607.30	3161.63	8846.93	10632.22	4393.89	8310.63	583.93	4649.87	6016.57	8961.83	2997.31
52	2316.89	5368.68	6432.31	12225.81	6444.51	5879.99	6345.83	3928.33	3907.55	4368.30	5218.90	6724.06	5871.69	3040.22	8763.05	10145.25	1667.40	3819.48	4460.25	1346.60	8975.99	8650.85	973.07	1933.58	6117.07
54	5697.31	2001.50	4113.57	9196.42	6697.78	6082.97	8421.31	5737.73	5453.32	7543.85	811.78	1593.47	994.72	7062.97	3131.85	3841.95	6051.98	8086.33	3990.75	7212.67	4476.58	999.60	5218.72	8039.43	1203.81
55	7483.79	5108.37	7778.79	12633.59	10361.16	9118.45	10956.99	7632.39	7601.57	9167.49	3037.68	2049.66	3288.77	9156.37	2852.87	3559.53	7473.83	9583.03	3121.73	7121.97	1608.59	3751.70	5153.53	7800.14	2714.07
57	6721.32	6868.26	9346.70	14862.12	11064.66	9717.51	10722.72	7382.75	7522.04	8262.81	5231.74	5484.88	5777.73	8234.67	6930.29	8080.06	6292.76	8230.52	3061.04	4304.38	5807.03	7870.86	3114.64	4619.64	5542.85
58	6713.06	6849.46	9327.40	14843.12	11049.55	9705.81	10717.85	7378.67	7515.69	8263.50	5209.23	5457.40	5752.16	8230.27	6902.45	8049.33	6286.98	8233.27	3037.41	4312.76	5777.84	7836.85	3120.63	4632.80	5521.64
59	10421.96	5809.38	8756.53	11630.93	12053.64	10293.49	12410.98	8955.58	9037.36	10900.07	4473.15	3472.53	4992.51	11801.95	11899.29	857.20	10644.76	11813.86	6832.33	4720.03	7768.45	2840.70	4720.03	11481.32	2243.68
60	6137.35	3302.15	5630.05	10706.16	8149.28	7313.84	9426.99	6462.98	6270.94	8132.25	1256.36	336.01	1300.94	7729.74	2523.63	3258.87	6315.12	8577.10	3012.64	6852.60	3018.98	1256.79	4957.09	7639.77	1500.22
61	7346.86	5515.22	8181.20	13232.43	10612.72	9343.23	11029.68	7662.98	7663.67	9077.39	3456.48	2755.85	3755.36	9042.44	3725.78	4515.61	7246.84	9401.85	2749.65	6576.41	2309.21	4627.56	4758.27	7201.17	3345.71
62	9669.67	7533.25	10666.71	15264.81	13372.28	11549.06	13016.25	9237.79	9439.96	10607.82	5503.55	4790.67	6063.98	11288.47	4955.78	5733.19	9479.44	11043.70	4869.35	8073.47	3050.39	7258.92	5847.07	8545.76	4763.83
63	2153.74	4707.22	5946.19	11985.78	6419.81	5955.47	6894.65	4326.30	4186.29	5087.01	4225.02	5555.07	4735.78	3623.04	7612.33	8877.47	1593.97	4729.92	3152.84	1642.79	7696.48	7233.04	1177.39	2470.21	5270.71
64	2228.74	4116.65	5443.71	11598.09	6235.51	5851.75	7115.63	4495.04	4275.75	5478.54	3442.35	4690.60	3847.72	3984.36	6770.55	7948.14	1907.09	5264.44	2354.45	2451.78	6855.47	6134.17	1763.42	3282.44	4607.81
65	8815.65	4664.14	7374.58	11012.67	10436.52	9039.21	11204.48	7963.84	7932.30	9832.67	3180.96	2079.90	3531.78	10251.15	194.14	662.50	9040.12	10589.70	5440.09	9331.28	2350.01	2954.43	6756.19	10101.78	1316.73
66	8704.84	4696.94	7417.39	11188.03	10447.40	9064.36	11206.62	7950.37	7917.67	9792.69	3121.88	1950.14	3455.34	10169.59	334.62	843.30	8909.48	10519.54	5225.93	9145.81	2088.26	2915.36	6621.61	9909.42	1398.25
67	10691.59	6372.95	9464.54	12583.58	12755.67	10901.52	12921.78	9317.02	9440.12	11195.04	4803.79	3688.64	5339.73	12147.29	1651.82	1584.44	10843.45	12061.72	6696.84	10631.86	2164.26	5279.41	7700.56	11348.79	2768.15
68	8059.05	5155.91	7908.05	12437.98	10668.72	9336.38	11259.77	7900.98	7884.27	9531.53	3149.27	1943.23	3427.62	9686.92	2157.67	2764.14	8105.06	10049.37	3854.64	7866.19	945.76	3563.60	5693.46	8562.87	2402.90
69	8992.81	5425.29	8293.64	12283.34	11284.25	9783.77	11786.47	8361.74	8383.28	10110.10	3596.07	2330.44	3954.93	10546.68	1352.05	1755.09	9100.39	10772.27	4960.15	8949.14	844.43	3819.92	6479.27	9663.09	2223.12
70	6193.77	7576.29	7983.67	11237.04	6648.12	5205.46	2967.51	2195.43	3154.64	490.31	8800.27	10977.94	9982.51	4155.09	12823.56	14579.64	6241.55	1021.04	9959.55	6838.88	14021.10	13609.97	4968.60	6900.82	8949.77
71	3818.28	1796.05	3450.95	9522.12	5412.54	5165.49	7351.95	4796.59	4415.87	6422.05	914.90	2495.37	1094.71	5336.78	4508.90	5412.15	4150.13	6720.94	2967.33	5575.66	5351.24	2741.08	4030.92	6407.51	2468.20
72	7672.38	4436.84	7066.53	11541.59	9851.18	8654.21	10708.96	7493.99	7418.08	9202.93	2520.69	1172.51	2737.83	9251.24	1552.41	2173.86	7803.62	9760.62	3931.95	7930.93	1645.97	2457.71	5739.98	8676.90	1669.47
73	8268.99	6306.41	9161.94	14017.97	11709.34	10219.36	11822.63	8291.49	8371.78	9689.77	4256.32	3512.61	4657.56	9937.09	4082.95	4851.46	8130.41	10057.81	3565.62	7149.11	2318.89	5618.44	5174.79	7713.03	3856.15
74	5246.39	2021.10	4083.06	9462.62	6525.52	5985.92	8268.99	5581.68	5280.48	7326.57	362.27	1527.05	500.01	6689.78	3354.29	4118.83	5670.55	7791.67	3493.44	6713.00	4453.16	1188.27	4856.02	7538.61	1503.44
75	5752.72	5727.68	8027.30	13669.07	9766.23	8690.00	9965.64	6775.86	6784.21	7820.65	4037.04	4256.72	4431.01	7411.32	5875.45	6935.71	5428.23	7822.07	1698.16	4164.67	4926.10	6251.30	3009.46	4696.23	4584.92
82	6613.27	6335.90	8826.90	14314.02	10709.26	9442.27	10662.98	7333.32	7410.12	8369.39	4566.50	4627.70	5020.33	8232.40	6033.67	7088.24	6272.11	8417.16	2445.10	4729.59	4850.62	6825.05	3420.83	5175.23	4880.12
86	6618.48	5719.73	8235.49	13626.68	10332.19	9139.91	10608.70	7300.09	7312.26	8520.03	3796.10	3581.62	4143.27	8314.58	4928.31	5867.56	6396.85	8677.49	2039.29	5378.83	3709.65	5556.20	3890.04	5942.54	4063.28
110	1727.78	4908.97	5858.03	11747.31	5852.02	5429.10	6080.40	3694.61	3585.41	4286.03	4834.55	6371.41	5446.60	2658.54	8423.70	9767.68	1075.27	3802.73	4249.12	1784.55	8722.45	8138.58	1287.74	2445.52	5797.70
202	3037.44	4276.86	5862.29	11950.42	6956.22	6439.89	7769.52	5018.85	4836.57	6045.39	3253.57	4274.78	3608.87	4794.15	6326.76	7460.99	2745.89	5892.65	1622.08	2741.25	6207.11	5757.96	1973.04	3535.90	4385.45
246	5233.02	5612.21	7775.40	13521.24	9332.34	8339.96	9545.34	6438.77	6432.62	7415.57	4061.94	4480.48	4469.93	6871.63	6215.92	7321.42	4869.93	7347.03	1639.04	3572.99	5423.74	6441.00	2579.91	4118.19	4736.51
256	6666.44	6351.82	8855.66	14330.38	10754.88	9478.84	10705.72	7367.62	7446.14	8410.39	4572.31	4615.35	5026.15	8287.09	6005.17	7055.10	6328.65	8465.24	2471.49	4790.47	4806.10	6817.07	3465.01	5236.21	4870.27
260	1742.13	2290.26	2576.68	9071.49	3045.35	3332.53	5308.52	3115.56	2567.38	4626.20	3056.43	4814.91	3518.10	2841.01	6758.90	7883.03	2352.20	4756.25	4298.47	4717.90	7720.89	5657.03	3411.92	5489.27	4149.79
265	3875.86	5778.35	7474.27	13343.16	8285.77	7448.53	8207.33	5388.17	5409.84	6011.60	4874.71	5907.10	5431.47	5196.86	7848.26	9138.20	3301.83	5663.04	3071.82	1326.47	7516.21	7953.51	949.64	1925.96	5711.29
268	5807.77	5875.24	8180.65	13821.26	9888.42	8786.15	10011.71	6812.05	6837.01	7821.91	4211.17	4460.80	4628.66	7444.28	6069.83	7148.96	5459.97	7806.16	1875.49	4074.43	5109.25	6508.44	2944.		

Apêndice A: Matriz das distâncias de *haversine* (Continuação)

Prop.	23	24	25	27	28	29	30	31	32	34	35	36	37	38	42	43	44	45	46	48	49	50	51	52	54
41	8090.47	7181.36	3909.95	7937.69	7083.73	2294.89	9001.00	2949.69	4019.60	9270.63	6179.54	3175.25	8456.93	6421.77	9686.48	8382.16	7688.38	6956.90	8789.68	7477.90	4609.58	4822.42	7286.94	2521.32	5345.42
33	5045.02	6137.40	2253.02	5663.05	4776.34	5764.08	6001.66	1023.50	7442.84	8105.43	4663.45	7202.93	9731.51	8961.25	7868.77	8971.90	6355.62	7711.22	5836.92	4960.19	7037.94	4396.50	6151.17	7357.07	2364.74
15	6796.85	7636.90	3217.99	7328.14	6344.69	4904.80	7830.69	2060.37	7717.41	9875.14	6038.92	6152.27	10982.57	9362.46	9652.80	10271.92	7860.74	9040.01	7442.57	6317.53	7779.52	5274.19	7509.52	7211.99	3976.45
53	12678.85	14229.99	6690.18	13337.74	11990.79	11267.36	13905.90	6838.73	15171.76	17493.34	11527.35	13328.90	19239.22	15528.93	16413.88	17695.48	13951.94	17311.62	12278.80	10378.21	15862.62	9202.90	12988.95	15872.11	10293.54
106	8808.36	9073.09	4302.92	9120.23	8055.48	3414.81	9908.13	3212.02	7448.60	11562.96	7445.67	4318.14	11832.92	9243.96	11473.28	11271.70	9353.74	10064.28	9360.64	7945.22	8096.08	6086.25	8848.66	6444.51	5774.58
13	9652.56	10000.16	4778.44	9990.37	8860.73	3890.52	10802.08	3792.12	8293.47	12650.53	8220.61	4772.11	12924.27	9942.21	12470.77	12281.43	10231.32	11166.57	10105.79	8572.81	9101.16	6645.28	9644.39	7374.91	6577.85
2	13133.04	12872.40	6681.33	13214.46	11914.74	4232.70	14415.11	5954.62	9419.86	16002.78	10868.27	4743.92	15336.41	10735.40	15861.27	14731.72	13092.42	13856.65	13365.06	11334.63	11033.04	8299.98	12214.64	8538.02	9768.72
20	11567.08	11227.62	5811.17	11633.28	10449.00	2649.21	12759.45	4938.30	7802.21	14067.08	9482.10	3014.01	13398.87	9449.47	14062.99	12943.44	11522.85	11910.60	11951.66	10142.00	9213.78	7306.65	10790.11	6606.75	8319.70
56	10248.30	10052.17	5084.91	10378.22	9267.09	2331.45	11383.66	4097.36	7170.37	12695.51	8427.94	2891.39	12306.58	8993.30	12714.16	11868.28	10370.51	10721.92	10733.14	9110.84	8274.97	6622.13	9752.99	5901.20	7100.44
26	13842.46	12890.91	7060.66	13652.26	12391.74	3266.49	15089.37	6409.67	8020.18	15971.07	11100.13	3335.30	14421.88	9325.91	16072.09	14081.66	13200.92	13259.50	14091.49	11958.07	10041.59	8217.99	12278.61	7027.27	10462.99
4	3107.39	3623.24	1159.07	3395.39	2719.95	6642.63	3851.79	714.68	6404.35	5168.05	2557.83	8248.48	7157.26	7699.46	5190.10	6453.63	3977.20	5084.91	4182.47	3576.48	5307.42	2899.01	4000.03	7021.79	941.66
5	1695.59	2251.93	595.57	1683.39	1171.09	8142.44	2167.69	1800.00	7083.49	3486.29	1141.10	9986.42	6485.10	7829.41	3348.33	5544.57	2466.19	4512.39	2802.01	2416.69	5677.59	2094.00	2637.50	8376.77	1711.50
6	3059.45	3484.76	1140.17	3299.71	2642.41	6694.04	3782.11	812.67	6343.58	5007.33	2453.97	8307.62	7002.54	7619.62	5056.18	6304.40	3852.85	4928.64	4138.54	3540.50	5207.91	2815.34	3886.88	7008.14	1023.60
7	9831.07	9015.14	4855.98	9718.61	8722.01	622.54	10865.49	3919.27	5111.54	11429.84	7731.73	1250.48	10396.53	7274.04	11721.36	10243.06	9449.23	10397.01	8834.83	6328.32	5922.07	8887.90	3408.73	6827.53	
8	1154.40	3068.21	1194.34	1226.71	1214.89	10426.93	566.98	3172.90	9294.97	3865.58	1806.34	12642.49	7917.62	9329.29	2675.10	6524.68	2530.45	6320.70	490.27	466.52	7933.68	2310.22	2517.40	11180.45	3445.03
9	1587.77	3470.71	1437.02	1687.95	1679.51	10854.49	1100.88	3444.88	9757.25	4255.11	2203.01	13139.55	8344.61	9679.63	2942.35	6882.66	2855.54	6805.19	264.94	240.51	8426.20	2496.87	2766.43	11730.44	3829.94
10	8345.83	7175.31	4063.32	8086.43	7257.74	2393.29	9228.88	3216.38	3441.98	9230.04	6263.73	3237.86	8082.87	5950.73	9729.05	8108.27	7703.94	6703.30	9019.34	7674.45	4170.86	4774.94	7285.71	1814.53	5678.18
11	13171.24	11935.00	6696.79	12872.55	11702.26	2401.06	14340.64	6050.73	6583.78	14811.66	10374.76	2253.80	12949.95	8064.72	15066.07	12786.82	12307.84	11920.48	13486.69	11450.44	8654.31	7597.80	11450.08	5435.41	9921.31
12	5291.54	3266.33	2549.47	4621.91	4219.61	6340.45	5755.37	2618.48	3877.69	4546.44	3180.89	7834.42	4188.49	5262.57	5416.08	4142.79	3958.71	2284.01	6021.32	5145.98	2174.39	2361.25	3844.66	5157.16	3978.28
14	9709.30	7494.50	4894.56	9006.43	8280.28	4241.22	10471.76	4593.47	971.14	9393.10	6916.45	5136.99	6695.67	3820.19	10179.92	7144.63	8058.51	6094.26	10191.44	8673.49	2927.82	4731.13	7506.37	1607.23	7422.07
16	3027.95	1506.86	1976.93	1665.09	2108.21	10578.90	2573.43	3807.30	8304.34	1389.31	1430.42	12799.30	5675.53	7978.52	63.50	4295.14	661.77	4484.50	2777.64	2394.57	6712.42	987.98	524.04	10644.61	4577.01
17	1775.29	3202.53	416.92	2350.31	1671.62	7845.45	2512.64	1329.07	7407.92	4589.11	1924.41	9645.74	7433.71	8313.27	4285.08	6486.79	3343.79	5420.42	2944.44	2526.70	6193.85	2657.17	3426.22	8423.19	839.14
19	9683.88	7472.28	4880.56	8982.42	8257.54	4239.05	10445.33	4578.07	967.96	9367.86	6896.22	5137.05	6679.64	3825.76	10154.95	7127.76	8037.00	6072.26	10168.01	8653.65	2908.44	4718.82	7487.29	1600.17	7398.98
21	10586.58	8192.76	5387.12	9802.75	9049.22	4636.27	11365.96	5184.03	1173.22	10164.24	7581.14	5511.27	7077.48	3473.18	10960.62	7575.77	8732.51	6734.31	10987.51	9347.87	3510.35	5096.71	8094.55	2307.82	8272.83
22	1152.63	3773.72	475.68	2294.33	1629.92	8869.88	1934.94	1945.71	8617.87	5096.95	2281.61	10834.72	8454.18	9242.85	4365.48	7288.01	3634.90	6534.94	2087.11	1785.12	7462.57	2942.39	3648.90	9840.50	1669.63
23	0.00	2975.12	562.86	1250.95	742.08	9433.97	750.32	2438.50	8603.55	4036.19	1577.46	11490.22	7749.66	8983.33	3202.22	6516.40	2715.47	5950.11	1309.76	1146.25	7285.20	2409.56	2790.35	10149.41	2377.80
24	3207.55	0.00	1811.96	1969.14	2140.08	9251.57	3094.87	3203.66	6853.98	931.84	1032.20	11248.23	4510.78	6947.81	1748.89	3448.91	798.37	2944.25	3548.04	3054.19	5154.83	760.60	1007.36	8926.04	3929.55
25	1022.04	3061.73	0.00	1808.79	1138.86	8525.50	1755.77	1790.43	7933.60	4316.08	1681.04	10435.46	7573.82	8616.77	3798.95	6499.87	3036.45	5634.79	2244.56	1934.24	6668.77	2539.00	3131.43	9174.97	1449.80
27	1307.81	1909.47	1041.42	0.00	560.51	9705.05	948.69	2870.05	8213.21	2653.36	771.11	11799.01	6634.46	8381.54	1863.78	5388.75	1552.73	4983.65	1673.77	1468.48	6728.40	1708.19	1729.30	10052.72	3109.57
28	825.87	2209.12	698.01	596.67	0.00	9306.98	857.43	2504.82	8094.82	3160.23	909.51	11339.66	6910.26	8444.36	2498.43	5726.63	2011.04	5137.92	1679.67	1470.98	6666.35	1964.89	2176.83	9738.43	2552.45
29	10499.10	9550.01	5225.31	10331.18	9306.98	0.00	11554.12	4356.85	5187.91	12042.93	8235.49	535.02	10769.58	7272.26	12347.71	10642.98	9979.62	9481.55	11015.97	9359.30	6634.27	6219.56	9359.73	3489.59	7458.18
30	719.06	2751.00	926.66	869.63	738.35	9949.38	0.00	2860.50	8832.14	3616.08	1456.92	12087.55	7568.72	9007.35	2607.93	6257.02	2334.46	5891.64	921.70	830.10	7453.16	2193.47	2397.00	10599.31	3005.33
31	3824.01	4659.88	1546.28	4305.07	3529.52	6139.20	4680.82	0.00	6702.83	6379.91	3419.84	7662.41	8175.85	8152.91	6291.52	7469.28	4957.54	6121.26	4807.14	4097.82	5900.80	3516.02	4887.39	6962.74	1169.74
32	9574.91	7075.08	4862.53	8743.10	8094.82	5187.91	10256.68	4756.85	0.00	8813.92	6667.23	6254.18	5746.60	3120.17	9693.34	6329.07	7644.76	5394.87	10009.49	8521.27	2278.81	4397.81	7094.11	2706.76	7529.19
34	3713.30	795.17	2186.81	2334.96	2612.46	9955.49	3471.44	3742.88	7286.17	0.00	1541.68	12059.63	4373.14	7035.25	1362.34	3139.79	665.16	3191.27	3759.08	3229.98	5597.25	364.65	536.58	9639.00	4670.93
35	1943.66	1179.66	1140.70	908.81	1006.96	9117.86	1873.18	2687.02	7381.58	2064.75	0.00	11110.76	5757.72	7686.75	1901.47	4659.57	1213.22	4018.46	2541.56	2202.95	5813.13	1399.57	1502.83	9165.30	2999.91
36	11011.46	9998.42	5507.60	10815.76	9764.71	460.71	12087.55	4682.58	5385.54	12562.11	8641.70	0.00	11154.63	7376.09	12861.71	11029.51	10418.83	9924.20	11489.82	9760.41	6979.20	6476.57	9753.32	3755.29	7931.66
37	7510.21	4054.64	4042.21	6149.92	6017.36	9378.01	7653.76	5052.49	5004.06	4606.54	4528.54	11279.96	0.00	4061.60	5758.82	1183.66	4440.24	2152.81	7582.21	6468.23	3534.10	2054.61	3941.46	8025.12	7141.55
38	12153.91	8718.82	6420.34	10846.69	10265.69	8840.79	12716.26	7033.89	3793.																

Apêndice A: Matriz das distâncias de *haversine* (Continuação)

Prop.	23	24	25	27	28	29	30	31	32	34	35	36	37	38	42	43	44	45	46	48	49	50	51	52	54
43	6812.60	3344.40	3742.35	5388.75	5379.56	9997.95	6825.84	4979.52	5945.49	3567.94	3953.57	12032.19	1276.91	4966.08	4696.34	0.00	3609.99	2235.44	6785.02	5791.92	4371.38	1485.03	3121.84	8935.65	6856.10
44	3022.05	824.13	1861.05	1652.91	2011.04	9979.62	2710.98	3518.25	7644.76	804.63	1095.81	12099.28	5099.11	7498.21	821.75	3842.89	0.00	3762.34	3074.90	2651.02	6002.48	763.46	410.64	9867.96	4245.36
45	5702.19	2617.11	2973.92	4568.34	4424.32	8164.67	5891.64	3740.77	4645.59	3324.24	3125.47	9924.20	2128.89	4865.03	4523.40	2049.16	3239.79	0.00	6089.73	5206.11	2759.39	1560.58	3017.03	6942.13	5245.32
46	1416.51	3559.16	1336.88	1731.49	1632.28	10705.17	1040.16	3315.27	9727.09	4418.98	2230.83	12966.57	8461.65	9717.87	3151.22	7018.99	2988.15	6872.42	0.00	51.83	8419.31	2586.59	2911.25	11625.02	3638.61
48	1464.66	3619.78	1361.13	1794.81	1688.90	10745.86	1106.80	3338.96	9783.68	4486.09	2284.54	13013.88	8528.47	9766.81	3208.61	7079.02	3043.76	6941.48	61.24	0.00	8482.09	2619.95	2958.71	11686.67	3672.41
49	7502.67	4924.02	3782.29	6627.97	6168.87	6139.18	8009.37	3875.15	2108.75	6265.58	4858.74	7500.03	3755.64	3666.95	7261.51	4306.13	5554.53	2965.32	8017.19	6836.31	0.00	3107.04	5194.25	4128.58	5982.09
50	4375.25	1281.01	2539.00	2966.85	3205.88	10147.70	4156.04	4071.18	7175.37	719.70	2062.52	12271.39	3849.68	6736.49	1883.82	2579.26	1245.65	2956.89	4342.75	3723.09	5478.19	0.00	933.53	9700.74	5206.33
51	3438.11	1151.27	2124.90	2038.10	2410.07	10362.56	3081.86	3840.09	7854.19	718.63	1502.83	12539.98	5011.28	7518.93	691.24	3679.31	454.64	3879.03	3316.75	2853.04	6214.55	633.47	0.00	10236.90	4711.19
52	9463.63	7719.82	4711.47	8965.94	8159.23	2923.71	10312.85	4140.01	2267.82	9769.25	6935.90	3653.79	7721.47	4927.53	10414.86	7969.63	8267.75	6754.51	10022.65	8527.38	3738.03	4981.46	7746.85	0.00	6916.38
54	2571.60	3941.87	863.52	3216.80	2480.44	7247.76	3391.60	806.72	7316.77	5490.91	2633.15	8951.09	7969.88	8434.66	5223.89	7092.52	4125.58	5919.48	3638.61	3108.31	6282.13	3100.95	4135.22	8022.13	0.00
55	3243.61	144.65	1804.97	2038.92	2173.88	9117.86	3166.14	3144.06	6719.59	1063.52	1055.22	11092.18	4438.39	6863.19	1910.18	3416.95	937.36	2821.51	3628.30	3122.37	5012.36	802.41	1131.49	8758.82	3870.56
57	7844.63	4641.82	4104.15	6659.83	6366.74	8011.75	8165.24	4720.54	3462.01	5599.95	4894.89	9663.39	1772.34	3248.94	6733.92	2710.19	5172.73	2285.29	8111.57	6917.41	2031.15	2644.66	4716.52	6281.71	6916.60
58	7811.88	4611.20	4086.59	6628.15	6337.14	8009.70	8130.74	4703.81	3473.91	5565.09	4868.03	9662.46	1757.55	3273.31	6700.31	2689.89	5143.42	2250.73	8080.94	6891.49	2026.72	2627.64	4690.55	6284.76	6889.52
59	2510.08	4036.81	1944.27	2425.63	2471.03	11684.88	2042.81	4026.77	10491.76	4747.61	2817.27	14103.86	8876.25	10164.46	3271.44	7297.10	3291.18	7482.87	1033.98	850.75	9183.57	2716.67	3069.99	12687.73	4671.09
60	2084.26	2250.75	770.92	1988.87	1501.19	7837.37	2566.37	1693.00	6738.51	3530.58	1279.08	9630.60	6260.77	7582.32	3545.91	5400.28	2571.97	4248.36	3161.05	2720.88	5322.98	2096.64	2732.84	7962.87	1695.00
61	4259.14	1044.94	2308.24	3035.24	3091.12	8971.36	4252.47	3471.76	6079.91	1461.79	1883.23	10901.56	3366.45	6132.99	2704.99	2490.87	1670.81	1822.85	4588.17	3934.67	4292.69	728.79	1616.43	8289.10	4520.18
62	6166.33	2912.59	3529.37	4665.71	4821.34	11035.40	5986.37	5114.72	7373.14	2672.95	3524.45	13270.39	3082.09	6246.24	3508.58	1673.55	2830.21	3374.66	5892.86	5032.21	5798.87	992.96	2268.68	10404.54	6809.28
63	8123.73	6408.55	3989.76	7633.78	6925.12	3675.40	8886.38	3439.79	2135.55	8240.42	5796.09	4649.62	6556.72	4836.87	8938.54	6793.43	6996.75	5378.24	8768.27	7466.72	2663.18	4216.02	6601.08	1517.42	5799.98
64	7118.44	5562.51	3437.46	6687.11	6026.34	4129.47	7840.79	2861.48	2718.33	7286.29	5003.86	5240.35	6125.56	5157.46	7969.31	6259.52	6168.21	4686.30	7839.97	6680.87	2459.95	3759.20	5869.13	2555.46	4904.04
65	923.61	3012.59	1067.30	1142.58	1052.92	10225.74	365.32	3025.68	9146.46	3859.51	1716.95	12409.03	7862.10	9249.71	2738.97	6500.70	2527.88	6222.26	599.77	558.22	7789.51	2312.28	2540.74	10966.43	3231.52
66	969.10	2728.91	1061.96	857.08	875.79	10144.03	261.76	3014.73	8940.31	3522.63	1486.79	12313.10	7545.78	9040.20	2439.62	6203.66	2249.91	5917.96	847.78	769.37	7547.34	2142.15	2295.39	10783.73	3232.78
67	3098.24	3601.75	2247.29	2440.27	2697.43	11990.91	2503.23	4385.11	10300.92	3990.37	2707.77	14454.74	8122.75	9746.71	2469.23	6515.00	2748.49	6954.11	1841.56	1563.43	8905.64	2281.11	2455.02	12742.41	5222.88
68	2623.64	726.47	1603.51	1312.03	1631.65	9639.23	2373.85	3211.70	7498.69	1186.49	701.68	11708.27	5272.13	7526.57	1153.93	4083.19	438.04	3761.41	2859.12	2470.39	5868.82	965.17	805.56	9563.95	3794.64
69	2191.10	1901.89	1596.35	970.00	1467.17	10470.48	1636.84	3504.32	8615.72	2224.20	1230.73	12683.31	6468.83	8454.09	997.49	5094.75	1192.76	5079.97	1919.15	1669.09	7090.64	1457.85	1230.74	10770.36	4045.23
70	14131.53	13008.95	7221.18	13870.97	12615.21	3352.87	15372.04	6615.69	7800.83	16090.69	11256.26	3387.55	14315.30	9043.83	16240.79	14030.21	13332.45	13247.27	14367.22	12193.22	9936.94	8261.66	12387.06	6862.95	10756.93
71	4253.08	4396.91	1786.71	4455.56	3736.64	5612.37	5048.18	654.14	5783.86	6084.25	3383.21	7052.22	7372.99	7407.74	6237.77	6840.24	4822.96	5339.20	5240.97	4471.74	4931.13	3324.95	4754.16	5969.18	1786.14
72	1573.08	1516.48	1004.45	567.46	671.51	9258.04	1464.89	2665.34	7680.15	2375.52	318.75	11277.22	6157.74	7972.44	1957.61	5012.72	1399.27	4427.19	2187.47	1903.16	6155.59	1564.83	1651.49	9440.94	2894.31
73	4903.29	1591.62	2752.17	3526.51	3665.38	9793.68	4790.36	4115.32	6559.84	1436.17	2421.70	11845.72	3031.68	6142.96	2693.78	1880.01	1844.45	2223.24	4968.01	4253.92	4826.15	442.67	1557.71	9117.18	5398.61
74	2852.87	3756.86	1008.76	3300.23	2593.33	6890.41	3634.13	672.11	6809.68	5306.78	2575.15	8536.79	7525.46	8030.04	5199.26	6743.11	4036.19	5460.24	3936.44	3365.05	5744.71	2988.05	4056.12	7455.93	522.17
75	6484.84	3613.07	3315.53	5464.73	5177.07	7318.98	6819.66	3772.23	3540.21	4611.07	3866.97	8913.91	2451.78	4190.18	5727.19	2862.57	4252.43	1284.23	6944.01	5929.05	1575.44	2235.23	3972.01	5750.62	5533.66
82	6804.73	3647.49	3555.75	5640.14	5422.71	8075.53	7058.63	4236.82	4002.31	4457.47	4033.27	9781.27	1540.15	4041.22	5632.01	2121.86	4215.11	1169.42	7125.85	6083.08	2217.39	2085.67	3864.62	6563.73	6100.87
86	5518.91	2433.21	2882.07	4382.89	4256.31	8225.70	5691.82	3680.50	4793.54	3115.71	2970.14	10000.96	2250.99	5011.04	4319.67	2058.83	3062.46	207.01	5910.26	5054.20	2911.80	1463.53	2860.64	7063.17	5125.00
110	9032.44	7477.30	4462.56	8614.31	7803.82	2664.09	9890.27	3796.69	2633.76	9521.44	6659.57	3427.05	7788.20	5271.67	10123.64	7963.82	8023.71	6663.71	9636.15	8199.12	3799.42	4878.84	7543.59	644.86	6450.17
202	6658.56	4877.69	3220.33	6125.15	5548.35	4894.58	7297.28	2844.89	2736.94	6447.31	4493.76	6127.25	5282.60	4922.03	7219.62	5448.99	5515.17	3798.02	7375.28	6289.52	1837.53	3316.03	5260.72	3286.24	4712.79
246	6808.97	4092.50	3448.40	5865.22	5503.04	6790.26	7220.01	3732.15	2971.07	5243.00	4205.92	8287.56	2984.40	3992.86	6304.23	3462.47	4737.27	1953.63	7310.65	6238.97	941.43	2576.90	4436.77	5058.03	5604.47
256	6780.46	3609.85	3547.59	5608.20	5398.29	8128.96	7026.43	4245.91	4063.27	4401.91	4008.09	9844.54	1490.47	4071.80	5580.18	2058.30	4173.51	1134.92	7094.79	6056.78	2281.91	2054.17	3822.96	6633.42	6102.14
260	6911.28	6699.87	3244.36	7033.28	6160.50	3287.53	7848.82	2026.21	5310.75	8765.95	5532.87	4349.37	8902.81	7418.35	8972.22	8573.66	7133.07	7118.09	7689.90	6541.55	5415.61	4633.59	6824.93	4367.02	4089.88
265	8554.59	6204.84	4298.30	7789.19	7185.98	5066.95	9201.95	4135.63	920.65	7840.61	5863.52	6194.38	5237.97	3590.78	8724.02	5752.57	6806.57	4557.55	9074.11	7729.32	1494.62	3930.09	6356.82	2643.59	6595.00
268	6721.51	3812.00	3445.93	5684.96	5388.27	7334.67	7063.16	3902.52	3414.63	4819.19	4054.35	8922.36	2375.92	4015.31	5937.46	2881.10	4438.29	1454.20	7158.4						

Apêndice A: Matriz das distâncias de *haversine* (Continuação)

41	6823.45	5337.52	7009.23	11341.54	6498.37	7779.03	9385.26	2090.40	2097.64	8556.37	8064.78	11320.51	6470.94	9521.80	6740.28	4042.89	8123.69	8877.00	4783.47	2960.96	7099.54	3795.89	1676.96	2769.43	3924.77	6666.44	1332.22	3704.87	6149.40
33	5865.16	6868.26	9005.77	7961.00	4402.86	7353.63	9207.31	5753.27	4878.99	5700.62	5479.76	8497.27	5213.20	7233.72	10382.32	2394.74	5915.78	8525.33	2320.52	3712.39	8565.20	4130.92	5999.86	4910.47	5300.42	7998.58	2205.44	6955.42	7833.66
15	7307.35	7647.30	10034.02	9817.93	6141.87	8924.94	10666.71	5946.19	5278.75	7374.58	7080.23	10324.96	6542.11	9047.60	8951.39	3764.67	7708.94	10133.66	3835.60	4256.90	9763.09	4866.42	5858.03	5507.00	6008.27	9124.01	2030.11	7361.02	8924.35
53	13741.80	14079.90	18488.80	15099.81	13523.57	16714.65	17675.04	13878.27	13022.41	12751.52	12365.71	15895.05	11914.27	15515.79	14588.44	12027.94	14578.85	17952.84	10292.67	8393.29	18331.99	9323.52	13602.14	12998.70	12097.95	17095.89	8275.75	15215.88	17458.43
106	8680.97	8074.21	10601.59	12053.64	7929.03	10325.89	11926.63	5725.78	5392.87	9308.25	8894.41	12410.92	7871.79	10979.27	6648.12	5266.25	9584.93	11551.11	5467.33	4619.16	10564.54	5445.35	5219.37	5828.18	6431.74	9882.86	2139.97	7278.04	9621.17
13	9582.10	8894.00	11679.87	12910.48	8925.36	11401.91	12919.29	6662.05	6347.66	10111.66	9678.89	13303.55	8640.11	11939.51	6528.88	6303.65	10561.07	12644.30	6290.29	5155.08	11682.81	6041.63	6073.24	6767.34	7209.12	10924.76	2937.14	8206.01	10722.09
2	12351.52	10527.76	13835.77	16698.41	12340.78	14438.86	15619.50	8273.58	8280.01	13445.37	12836.67	16915.79	11177.89	15429.56	3992.65	9624.38	14019.00	15691.85	9321.41	6341.77	14152.69	7522.53	7296.48	8758.36	8851.13	13236.16	5018.97	9699.57	13106.24
20	10754.73	9060.64	11906.49	15061.65	10575.79	12539.43	13856.69	6489.44	6538.24	11945.77	11383.49	15246.03	9804.40	13682.85	3692.31	7848.96	12262.89	13756.34	7865.10	5389.89	12166.65	6470.53	5541.92	7072.02	7463.12	11386.33	3682.02	7959.80	11147.00
56	9618.31	8289.60	10890.09	13648.26	9214.44	11260.91	12715.05	5638.68	5584.66	10684.32	10179.86	13871.20	8785.33	12318.28	4764.16	6488.63	10900.03	12472.25	6681.43	4845.87	11039.56	5819.96	4829.32	6119.74	6695.17	10333.41	2724.56	7176.32	10046.21
26	12356.18	9699.82	12754.54	17534.89	12728.73	14208.10	15219.91	7298.76	7622.32	14107.75	13411.72	17522.67	11313.51	15824.50	788.76	10051.90	14404.59	15377.25	9874.94	5950.49	13281.86	7223.50	6149.52	8148.14	8221.62	12432.75	5229.62	8494.65	12243.00
4	3424.30	5136.62	6724.64	6018.42	1644.69	4524.84	6604.26	5070.02	4005.64	3817.15	3575.97	6288.60	3126.37	4707.58	11840.36	1197.69	3299.81	5649.29	408.37	2569.03	6060.99	2691.78	5801.46	3667.66	3766.53	5653.03	2889.72	5761.02	5512.81
5	2139.37	4986.26	6523.16	4326.04	407.29	3340.43	5322.96	6172.30	5053.84	2311.00	2068.33	4471.08	1786.21	2824.77	13676.23	3024.69	1421.22	4316.84	1593.89	2508.17	5687.24	2351.57	7079.35	4461.89	3846.88	5283.57	4215.07	6464.00	5407.03
6	3288.77	5032.22	6587.15	5958.80	1510.77	4361.06	6455.20	5041.32	3971.84	3759.64	3511.08	6200.98	3018.52	4592.82	11914.61	1271.27	3179.41	5483.90	500.01	2501.38	5911.03	2606.25	5797.99	3608.87	3676.88	5512.55	2950.66	5694.28	5375.21
7	8601.44	6737.46	8853.77	13232.49	8432.44	9864.48	11288.47	3623.04	3863.62	10251.15	9707.34	13251.59	8013.72	11505.47	4658.73	5821.94	10092.26	10991.02	6284.34	3930.24	9105.53	4913.16	2658.54	4503.59	5309.89	8538.21	2238.37	5118.12	8121.04
8	3049.62	6452.34	8449.55	1517.37	3132.78	4625.10	5639.34	8662.31	7470.95	220.91	363.47	2050.54	2031.19	1678.41	16361.10	5597.26	1927.13	5138.88	3585.62	3545.53	7594.10	3313.87	9585.59	6763.09	5465.73	7040.54	6059.70	8795.47	7534.96
9	3448.29	6817.55	8929.73	991.14	3666.22	5080.06	5912.35	9154.89	7948.14	683.20	830.12	1782.49	2358.16	1974.47	16857.71	6088.66	2445.59	5533.70	3990.12	3792.97	8085.02	3675.54	10072.92	7227.84	5834.26	7496.04	6404.96	9280.98	8042.58
10	6814.38	4997.19	6564.34	11584.00	6686.59	7673.12	9200.63	1547.09	1794.91	8774.24	8254.37	11481.30	6507.88	9635.70	6792.28	4394.26	8262.65	8728.23	5079.03	2793.94	6733.29	3668.78	1043.65	2503.60	3652.45	6328.65	1798.74	3156.16	5781.14
11	11425.92	8547.08	11241.58	16812.04	11875.99	13017.95	14017.00	6003.36	6479.31	13440.78	12744.82	16700.85	10551.84	14915.46	1463.02	9305.91	13514.70	14119.62	9290.07	5264.86	11816.40	6508.12	4826.54	7025.85	7205.74	11069.93	4756.25	7078.80	10808.52
12	3024.18	2582.75	3369.63	7899.88	3389.22	3093.36	5021.52	3251.37	2354.45	5610.10	5144.27	7533.95	3288.49	5580.16	11515.73	3338.24	4423.44	4067.03	3384.27	928.68	2788.94	1242.69	4381.90	1571.39	1306.11	2625.96	3492.50	3119.81	2109.92
14	7121.97	3748.98	4938.81	12801.81	7957.86	7637.12	8594.34	1748.78	2530.87	9933.30	9293.33	12346.68	6927.32	10392.55	8162.53	6474.96	9210.12	8417.50	6713.00	2351.02	5568.71	3383.46	1899.68	2741.25	2939.07	5254.06	3956.95	1390.65	4731.60
16	1598.28	5025.32	6574.15	3368.77	3483.44	2664.47	3226.37	8140.51	7031.25	2485.59	2108.34	2497.23	827.54	974.34	16627.59	6174.51	1899.20	2712.80	4424.61	2763.04	5674.61	2318.53	9225.67	6167.32	4432.86	5237.42	6434.08	7829.39	5895.28
17	3060.60	5592.45	7321.27	4595.81	1190.65	4384.00	6303.80	6281.32	5165.61	2566.69	2416.68	5001.54	2560.17	3618.87	13251.81	2596.82	2328.36	5396.66	969.38	2878.89	6555.64	2851.21	7067.71	4697.28	4322.25	6099.48	3870.60	6802.34	6165.89
19	7100.42	3737.56	4923.66	12774.79	7931.34	7613.23	8575.70	1726.84	2507.98	9909.07	9270.26	12320.90	6908.07	10366.84	8170.59	6449.48	9183.96	8394.66	6690.51	2340.69	5549.35	3371.36	1888.68	2718.41	2923.89	5236.01	3942.67	1371.70	4711.11
21	7800.14	4023.56	5305.31	13703.51	8871.99	8362.65	9097.10	2629.58	3388.32	10753.51	10069.25	13179.24	7540.85	11221.65	8236.46	7440.98	10076.40	9081.47	7538.61	2651.10	6093.41	3738.05	2603.29	3535.90	3387.54	5742.94	4603.90	2019.16	5316.70
22	3658.09	6506.83	8522.53	3609.39	2348.17	5236.77	6835.05	7562.32	6410.86	1889.22	1914.99	4332.75	2852.13	3479.67	14397.45	3863.27	2613.09	6119.53	2026.38	3488.52	7744.54	3444.95	8318.44	5910.83	5251.34	7199.53	4691.07	8070.30	7423.16
23	2914.55	6139.28	8038.31	2691.97	2174.88	4444.32	5898.23	7770.53	6602.61	883.45	884.83	3232.94	2076.10	2286.37	15155.56	4438.00	1641.47	5187.54	2563.45	3289.41	7199.21	3119.38	8639.73	5983.06	5032.72	6682.19	5208.50	8058.67	7013.75
24	140.13	3916.53	5115.55	4667.56	2532.10	1175.55	3003.61	6608.82	5562.51	3106.74	2686.27	4051.97	619.77	2139.62	15041.59	4946.52	1706.03	1815.45	3639.46	1975.90	4160.42	1482.74	7710.97	4725.27	3261.21	3835.47	5443.65	6301.79	4288.50
25	2944.96	5832.21	7635.48	3786.22	1460.68	4373.51	6129.95	6929.59	5789.41	1853.74	1760.62	4258.03	2303.99	3024.67	14062.30	3385.35	1903.16	5287.07	1645.87	3053.78	6830.78	2957.91	7750.77	5264.22	4628.11	6348.32	4439.65	7352.35	6529.13
27	1915.35	5448.95	7130.28	2719.65	2169.68	3311.18	4665.71	7633.78	6484.47	1142.58	818.13	2662.11	1085.41	1058.18	15552.30	4860.61	619.05	3900.54	3100.22	2897.96	6238.34	2589.89	8614.31	5753.93	4532.22	5778.15	5541.37	7671.17	6201.77
28	2173.88	5545.23	7257.05	2949.29	1743.31	3589.68	5132.39	7371.90	6220.74	1120.85	889.91	3132.50	1436.90	1703.81	15056.86	4339.32	779.81	4315.69	2593.33	2922.54	6384.80	2677.36	8307.30	5548.35	4526.70	5920.70	5166.87	7533.69	6257.35
29	9117.86	6977.97	9172.40	13946.47	9101.46	10418.35	11747.36	3912.52	4262.68	10885.47	10307.64	13924.93	8488.74	12159.26	4001.82	6517.59	10751.27	11531.27	6890.41	4131.68	9508.29	5174.23	2835.97	4894.58	5585.54	8915.63	2757.28	5312.12	8517.68
30	2726.40	6123.93	8017.81	2099.55	2566.37	4252.47	5487.50	8145.85	6969.59	334.88	229.04	2503.23	1800.17	1636.84	15799.04	5048.18	1464.89	4856.90	3129.39	3315.11	7156.67	3083.07	9066.08	6283.77	5114.18	6636.07	5668.59	8307.32	7063.16
31	4430.26	5793.39	7590.24	6772.29	2770.36	5681.06	7672.08	5159.69	4162.15	4538.53	4316.54	7175.63	3985.43	5734.35	11126.39	1070.40	4361.47	6827.70	947.06	3000.64	7029.26	3262.26	5695.03	4008.71	4325.90	6561.86	2394.61	6109.45	6385.94
32	6719.59	3015.29	3978.18	12522.42	7825.37	7060.54	7848.82	2273.32	2806.02	9736.55	9084.51	11962.36	6603.68	10005.35	9310.66	1671.74	8918.88	7723.68	6										

Apêndice A: Matriz das distâncias de *haversine* (Continuação)

43	3209.86	2217.42	2893.67	8181.60	5891.21	2717.31	1673.55	6793.43	6069.84	6500.70	5921.67	7107.27	3377.91	5557.91	15730.85	7462.08	5468.42	2079.40	6334.43	1518.03	2346.91	1216.58	7963.82	5118.74	2675.54	2120.67	6755.00	5665.41	3143.02
44	937.36	4505.28	5890.04	3928.18	2986.81	1940.29	3012.80	7448.16	6367.19	2690.97	2286.20	3191.79	385.76	1385.14	15912.92	5600.86	1624.95	2171.70	4036.19	2400.56	4962.95	1926.38	8541.37	5515.17	3896.79	4577.40	5982.58	7135.92	5154.14
45	2429.63	1713.97	2219.47	7690.73	4248.36	1822.85	3093.44	4930.05	4165.60	5703.74	5178.21	6954.11	2852.41	5079.97	13615.25	5339.20	4427.19	2254.12	4701.87	624.28	1185.67	112.13	6108.40	3270.51	1383.82	1071.87	5140.84	4114.46	1454.20
46	3525.93	6865.59	8992.90	1199.29	3567.33	5177.88	6096.07	9070.63	7864.55	620.45	837.15	2078.25	2446.83	2165.81	16664.18	5914.57	2468.62	5684.40	3825.38	3809.41	8153.40	3612.86	9968.43	7167.20	5843.94	7561.84	6267.63	9244.79	8078.54
48	3584.94	6917.41	9061.03	1165.84	3627.84	5246.22	6150.47	9125.99	7918.07	682.27	897.59	2084.57	2497.84	2225.45	16709.23	5962.32	2537.54	5750.67	3863.58	3842.90	8223.43	3650.25	10021.14	7221.30	5892.36	7627.05	6299.27	9303.81	8147.47
49	4638.31	1637.05	2147.72	10143.04	5720.22	4613.04	5712.32	2623.43	2349.80	7673.24	7096.75	9570.24	4782.65	7619.79	10975.13	5299.12	6614.97	5258.34	5316.00	822.99	2415.96	1694.93	3742.71	1700.40	716.61	2315.97	4203.16	1450.00	1587.44
50	1309.19	3758.20	4909.53	5290.36	3972.58	1380.87	1724.61	7322.57	6331.28	4016.06	3551.46	4322.10	1386.80	2762.24	16088.49	6299.91	2964.94	850.39	4875.24	2058.76	4006.68	1502.05	8473.77	5410.36	3458.47	3675.89	6340.71	6722.52	4410.95
51	1252.72	4548.07	5946.95	4056.77	3513.65	2078.26	2673.80	7779.84	6707.58	2994.44	2582.31	3156.46	785.42	1582.38	16368.62	6112.50	2123.35	2030.58	4490.70	2482.51	5037.81	1992.23	8890.66	5824.37	4040.63	4642.16	6337.43	7378.45	5309.78
52	7338.47	4583.95	6029.97	12687.73	7747.66	8065.07	9279.73	1353.38	2210.13	9780.87	9180.74	12398.02	7056.64	10479.27	6862.95	5807.85	9185.78	8993.97	6246.86	2719.89	6475.03	3722.48	575.14	2753.34	3485.94	6095.57	3068.72	2322.07	5552.14
54	3761.36	5854.18	7667.02	5417.88	1912.85	5101.14	7044.08	5999.98	4919.41	3342.95	3192.24	5894.16	3247.45	4565.15	12476.69	2015.70	3266.31	6177.09	507.44	3035.71	6980.61	3132.84	6672.59	4579.83	4480.06	6503.85	3333.45	6719.04	6479.57
55	0.00	3827.72	4998.73	4790.87	2458.59	1086.91	3046.72	6459.71	5418.52	3180.52	2759.11	4197.30	717.39	2274.17	14881.44	4824.63	1749.81	1819.73	3566.31	1907.50	4040.38	1416.48	7562.38	4585.16	3156.17	3725.17	5342.73	6158.72	4149.91
57	4394.79	0.00	34.09	10034.57	6337.39	4073.82	4332.19	4620.55	4244.05	7791.89	7173.78	9191.28	4579.61	7349.52	13144.47	6777.97	6700.49	4245.07	6269.68	760.28	1134.22	1348.98	5717.84	3445.29	1215.49	1097.55	5656.28	3213.65	1339.82
58	4365.08	25.93	0.00	9999.16	6304.48	4039.60	4309.08	4617.49	4234.85	7760.23	7143.54	9157.43	4553.50	7315.21	13147.67	6752.12	6665.97	4212.81	6243.88	745.94	1099.28	1330.27	5717.40	3433.60	1201.55	1065.16	5644.66	3218.51	1311.76
59	4013.97	7322.53	9593.79	0.00	4604.94	5701.57	6164.16	10000.72	8770.82	1559.26	1620.98	1286.39	2824.64	2438.48	17847.53	7053.00	3265.16	6014.57	4818.11	4154.14	8764.77	3941.35	10935.18	8004.87	6386.49	8124.57	7100.02	10058.83	8780.33
60	2117.12	4753.04	6216.92	4732.85	0.00	3212.25	5290.69	5800.57	4693.69	2678.87	2411.00	4824.88	1884.88	3111.49	13322.62	2726.84	1688.45	4241.45	1471.61	2347.45	5392.45	2213.41	6714.18	4111.43	3593.53	5012.43	3988.47	6101.65	5075.60
61	935.95	3055.37	3983.50	5869.95	3212.25	0.00	2486.55	6059.88	5104.00	4176.65	3709.44	5131.95	1502.52	3277.15	14677.93	5172.62	2823.73	1087.98	4115.10	1472.43	2999.45	876.15	7208.72	4221.90	2571.24	2750.14	5422.79	5539.43	3234.57
62	2862.07	3544.52	4635.53	6911.33	5771.66	2712.60	0.00	8023.23	7138.95	5667.64	5132.76	5708.79	2809.17	4484.46	17071.69	7885.09	4845.52	1664.41	6391.44	2214.35	3969.24	1774.83	9201.41	6154.51	3714.09	3630.61	7331.59	7075.10	4644.50
63	6068.21	3780.45	4967.30	11212.93	6327.90	6610.77	8023.23	0.00	932.45	8475.80	7926.15	10933.48	5937.35	9009.05	8114.69	4601.77	7727.94	7548.59	5145.07	2084.63	5209.07	2968.98	1178.54	1483.98	2582.05	4913.05	2663.27	1646.15	4281.62
64	5249.19	3580.92	4698.04	10141.26	5280.40	5742.00	7362.04	961.89	0.00	7516.78	7013.22	9912.93	5191.57	7999.38	8823.09	3631.84	6699.40	6729.20	4269.00	1819.69	4712.88	2578.68	1975.21	765.12	2253.30	4444.47	2344.50	2017.60	3792.62
65	2987.76	6375.18	8348.13	1748.26	2922.40	4556.34	5667.64	8475.80	7289.00	0.00	283.69	2283.39	2001.20	1743.78	16117.82	5361.84	1803.25	5117.28	3379.44	3484.54	7493.33	3261.42	9390.02	6597.07	5366.32	6948.41	5887.92	8637.03	7410.96
66	2715.31	6148.95	8050.66	1904.00	2755.43	4239.37	5377.17	8303.58	7124.54	297.20	0.00	2245.90	1755.83	1450.92	16038.53	5281.38	1513.56	4788.56	3341.44	3345.04	7185.47	3096.12	9238.40	6417.98	5171.78	6660.72	5840.38	8424.66	7122.90
67	3614.34	6893.46	9030.25	1322.12	4824.88	5131.95	5233.06	10022.36	8811.49	2093.11	1965.17	0.00	2475.39	1958.02	18271.06	7471.82	3224.56	5221.16	5263.47	3944.79	8195.22	3655.22	11031.46	7970.17	6128.75	7586.98	7429.12	9888.22	8335.92
68	814.62	4529.29	5921.22	3828.27	2485.56	1981.34	3395.70	7177.01	6085.35	2419.03	2025.96	3264.25	0.00	1328.74	15506.02	5125.25	1149.05	2450.21	3601.14	2366.53	4988.84	1925.38	8248.15	5268.02	3818.11	4606.85	5657.76	6961.34	5095.24
69	1958.31	5512.14	7213.61	2506.21	3111.49	3277.15	4110.75	8258.30	7110.56	1598.46	1269.56	1958.02	1007.63	0.00	16483.72	5835.89	1423.64	3562.76	3991.42	3012.43	6318.84	2639.52	9291.00	6301.85	4755.83	5843.67	5625.11	8120.56	6423.91
70	12468.24	9591.91	12614.65	17847.53	12962.55	14281.23	15226.10	7237.42	7630.78	14375.35	13654.42	17777.25	11440.93	16038.22	0.00	10324.00	14624.94	15424.65	10136.57	5922.54	13201.38	7222.82	6067.13	8150.06	8169.54	12359.33	5442.36	8340.95	12169.99
71	4154.54	5083.48	6658.34	7248.91	2726.84	5172.62	7228.00	4218.29	3228.30	4915.02	4621.20	7471.82	3886.65	5835.89	10610.78	0.00	4414.45	6331.84	1302.31	2560.63	6137.21	2852.00	4831.23	3087.24	3629.02	5737.04	2033.28	5143.51	5447.89
72	1506.78	5025.36	6573.39	3355.86	1688.45	2823.73	4441.73	7083.94	5955.02	1652.98	1324.36	3224.56	871.36	1423.64	15031.19	4414.45	0.00	3526.17	2809.88	2609.41	5671.51	2290.08	8077.86	5229.52	4102.12	5252.86	5206.93	7112.48	5609.92
73	1545.52	3140.19	4097.39	6096.96	4183.35	1073.07	1504.81	6824.75	5899.57	4626.58	4132.59	5149.64	1832.62	3513.95	15635.95	6245.10	3477.87	0.00	4997.91	1704.65	3190.26	1114.88	7992.07	4969.94	2957.31	2913.13	6181.98	6112.35	3663.94
74	3566.31	5460.69	7150.25	5750.64	1708.96	4778.83	6803.79	5477.01	4406.71	3597.47	3395.33	6112.41	3171.33	4635.20	12098.49	1512.36	3263.09	5884.64	0.00	2779.31	6476.11	2889.90	6177.42	4072.76	4087.68	6037.11	3059.42	6187.10	5948.54
75	3379.00	1173.00	1513.20	8783.05	4829.04	3029.00	4175.63	3931.03	3327.42	6570.84	6021.07	8114.99	3691.79	6197.00	12521.95	5247.01	5367.93	3555.41	4923.34	0.00	935.02	792.01	5102.87	2475.83	487.99	918.84	4784.04	2975.68	247.65
82	3431.56	839.01	1069.16	8884.83	5318.58	2958.36	3588.63	4709.57	4131.84	6774.79	6201.16	8082.96	3731.38	6232.28	13382.22	6053.14	5593.82	3190.26	5500.26	448.30	0.00	743.87	5869.64	3262.41	1058.05	67.00	5386.00	3580.20	860.62
86	2251.84	1867.82	2421.77	7478.46	4086.30	1617.52	3003.56	5024.43	4231.67	5519.32	5001.42	6748.10	2695.54	4872.96	13704.85	5265.22	4227.85	2086.82	4594.20	710.78	1392.37	0.00	6201.63	3336.11	1500.74	1262.52	5138.86	4254.76	1643.51
110	7104.05	4678.23	6150.54	12260.66	7324.56	7864.06	9201.41	1178.54	1915.36	9390.02	8818.47	12034.32	6823.47	10135.63	6802.54	5270.43	8812.21	8839.71	5803.03	2706.07	6492.17	3664.60	0.00	2549.92	3481.35	6109.31	2615.94	2520.91	5551.42
202	4585.16	3000.74	3932.03	9554.19	4774.56	4902.85	6551.58	1579.72	789.81	7022.69	6521.49	9256.68	4639.26	7318.28	9727.49	3585.18	6072.99	5851.70	4072.76	1397.65	3841.23	2098.52	2714.44	0.00	1663.21	3630.41	2784.90	1921.85	2940.48
246	3836.92	1286.99	1672.74	9266.67	5073.22																								

Apêndice B: Posição geográfica dos produtores, região Toledo PR

Propriedade	Latitude (x)	Longitude (y)	Carga Volume (Estimado) - V/	Custo (Volume e Transporte) - Ci
2	24,79694444	53,60444444	275	R\$ 420,75
4	24,69972222	53,8375	275	R\$ 420,75
5	24,6825	53,87833333	297	R\$ 454,41
6	24,69638889	53,83888889	310	R\$ 474,30
7	24,70388889	53,66972222	330	R\$ 504,90
8	24,69388889	53,9425	290	R\$ 443,70
9	24,69833333	53,95444444	320	R\$ 489,60
10	24,66861111	53,71	340	R\$ 520,20
11	24,69916667	53,58638889	260	R\$ 397,80
12	24,62833333	53,81055556	320	R\$ 489,60
13	24,79027778	53,69472222	295	R\$ 451,35
14	24,60138889	53,69944444	310	R\$ 474,30
15	24,77166667	53,76388889	330	R\$ 504,90
16	24,63638889	53,93833333	312	R\$ 477,36
17	24,70472222	53,87083333	380	R\$ 581,40
19	24,60166667	53,7	225	R\$ 344,25
20	24,76444444	53,63472222	220	R\$ 336,60
21	24,58611111	53,68361111	310	R\$ 474,30
22	24,72277778	53,89805556	230	R\$ 351,90
23	24,70166667	53,915	345	R\$ 527,85
24	24,63055556	53,89833333	320	R\$ 489,60
25	24,70472222	53,88972222	190	R\$ 290,70
26	24,73611111	53,57166667	230	R\$ 351,90
27	24,6725	53,92083333	330	R\$ 504,90
28	24,68333333	53,91083333	310	R\$ 474,30
29	24,69972222	53,65305556	310	R\$ 474,30
30	24,69166667	53,92916667	360	R\$ 550,80
31	24,72083333	53,82194444	220	R\$ 336,60
32	24,58194444	53,71583333	310	R\$ 474,30
33	24,7525	53,80222222	270	R\$ 413,10
34	24,6175	53,91416667	375	R\$ 573,75
35	24,65916667	53,90222222	280	R\$ 428,40
36	24,69916667	53,64027778	360	R\$ 550,80
37	24,54277778	53,84777778	356	R\$ 544,68
38	24,48666667	53,72555556	255	R\$ 390,15
41	24,68333333	53,71416667	340	R\$ 520,20
42	24,63583333	53,93972222	360	R\$ 550,80
43	24,55111111	53,87722222	330	R\$ 504,90
44	24,63333333	53,92027778	310	R\$ 474,30
45	24,58944444	53,84444444	360	R\$ 550,80
46	24,70361111	53,95027778	319	R\$ 488,07
48	24,70472222	53,95138889	270	R\$ 413,10
49	24,59027778	53,77361111	335	R\$ 512,55
50	24,6025	53,91361111	190	R\$ 290,70
51	24,62472222	53,92861111	280	R\$ 428,40
52	24,63444444	53,69083333	370	R\$ 566,10
53	24,96055556	53,7775	285	R\$ 436,05
54	24,71777778	53,85333333	319	R\$ 488,07
55	24,63055556	53,89444444	310	R\$ 474,30
56	24,75222222	53,66666667	245	R\$ 374,85
57	24,55361111	53,80666667	270	R\$ 413,10
58	24,55416667	53,80722222	355	R\$ 543,15
59	24,69805556	53,9775	370	R\$ 566,10
60	24,67888889	53,86944444	360	R\$ 550,80
61	24,61	53,88166667	360	R\$ 550,80
62	24,56194444	53,91916667	330	R\$ 504,90
63	24,635	53,72611111	330	R\$ 504,90
64	24,64333333	53,74944444	320	R\$ 489,60
65	24,69527778	53,93694444	330	R\$ 504,90
66	24,68611111	53,93444444	315	R\$ 481,95
67	24,67083333	53,98444444	360	R\$ 550,80
68	24,64222222	53,91305556	273	R\$ 417,69
69	24,6575	53,94	360	R\$ 550,80
70	24,72138889	53,56305556	370	R\$ 566,10
71	24,70083333	53,80888889	360	R\$ 550,80
72	24,66666667	53,9075	360	R\$ 550,80
73	24,59166667	53,8975	365	R\$ 558,45
74	24,70805556	53,84416667	310	R\$ 474,30
75	24,58694444	53,81388889	175	R\$ 267,75
82	24,57027778	53,82611111	365	R\$ 558,45
86	24,59222222	53,84833333	195	R\$ 298,35
106	24,76972222	53,70833333	370	R\$ 566,10
110	24,64638889	53,69805556	330	R\$ 504,90
202	24,63277778	53,76722222	310	R\$ 474,30
246	24,59	53,79777778	255	R\$ 390,15
256	24,57	53,82777778	340	R\$ 520,20
260	24,71361111	53,74305556	260	R\$ 397,80
265	24,59638889	53,73583333	325	R\$ 497,25
268	24,5825	53,81055556	360	R\$ 550,80

