

OPERAÇÕES E LOGÍSTICA

O PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS NA LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO: UM ESTUDO DE CASO NO ATACADO

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo realizar a análise dos elementos característicos do processo de distribuição de uma empresa atacadista. Realizou-se a comparação com os modelos existentes na literatura, acerca do Problema de Roteamento de Veículos. Metodologicamente, o trabalho caracteriza-se como pesquisa aplicada e enquadra-se como um estudo de caso. Quanto aos procedimentos metodológicos empregados, foi aplicada a técnica de coleta de dados de entrevista em profundidade e utilizado um roteiro semiestruturado para obter as informações necessárias para a caracterização do processo logístico da empresa em questão. No que tange os resultados, efetuou-se a proposição de um modelo que atendesse aos critérios e características verificadas na realidade da empresa estudada. Nesse sentido, o modelo *Time Dependent Heterogeneous Vehicle Routing Problem* pode ser aplicado para otimizar as rotas, a fim de minimizar os custos com a entrega de mercadorias da empresa.

Palavras-chave: Problema de roteamento de veículos. Logística de distribuição. Atacado.

ABSTRACT

This study aims to analyze the characteristic elements of the distribution process of a wholesale company. A comparison was made with existing models in the literature about the Vehicle Routing Problem. Methodologically, the work is characterized as applied research and fits as a case study. As for the methodological procedures employed, the technique of interview data collection in depth was applied and a semi-structured script was used to obtain the necessary information for the characterization of the logistic process of the company in question. Regarding the results, a model was proposed that met the criteria and characteristics verified in the reality of the company studied. In this sense, the Time Dependent Heterogeneous Vehicle Routing Problem model can be applied to optimize the routes, in order to minimize the costs with the delivery of goods of the company.

Keywords: Vehicle routing problem. Distribution logistics. Wholesale.

1. INTRODUÇÃO

As revoluções industriais e a globalização causaram transformações sem precedentes na organização e produção das empresas. Os avanços tecnológicos aumentaram a complexidade e rapidez das informações e dos processos, levando as empresas a buscarem de forma contínua a melhora na performance para se manterem competitivas.

O crescimento do consumismo, aumento das exigências dos consumidores quanto à rapidez, segurança e confiabilidade em empresas e produtos, expansão do processo de compras on-line e diversos outros fatores, contribuíram para o desenvolvimento de estudos da área de logística. A logística desempenha papel importante na gestão de empresa, como ferramenta de geração de valor para o cliente e como fator fundamental para a competitividade das empresas.

A logística é o processo de encaminhar a mercadoria para o cliente no tempo estipulado, de forma correta, com o menor custo para a empresa. Para isto, é necessária uma rede de colaboradores, compartilhamento de informações e de planejamento, para que o processo siga um fluxo contínuo, diminuindo paradas e perdas durante a execução. Dentro desse contexto, surgiram diversas teorias e conceitos com o intuito de melhorar o processo, onde pode-se citar: Just in Time, Gestão da Cadeia de Suprimentos, software Electronic Data Interchange (EDI) e ferramentas com sistemas de rastreamentos das cargas por satélites (GPS), Cross Docking, entre outros.

Nesse sentido, o presente estudo abordará o modelo de roteamento de veículos, utilizado na área de logística de distribuição. O roteamento de veículos é um método que utiliza ferramentas computacionais para a otimização das rotas de entrega de uma empresa, visando diminuir os custos associados ao processo, através da minimização da distância, tempos de viagem e utilização de forma eficaz dos espaços e disponibilidades dos veículos, armazéns e afins da empresa.

Diante do exposto, surgiu a seguinte questão de pesquisa: Qual o modelo teórico, aplicado ao problema de roteamento de veículos, correspondente a empresa em questão?

À vista disso, o objetivo do presente trabalho é realizar a análise acerca dos elementos característicos da logística de distribuição de uma empresa atacadista e realizar a correspondência ou comparação com os modelos existentes na literatura sobre o problema de roteamento de veículos.

Tendo em vista a disposição do presente trabalho, após o marco introdutório, seção dois, é apresentado o referencial teórico utilizado para contextualizar a literatura existente sobre o tema estudado. A terceira seção expõe os procedimentos metodológicos empregados na pesquisa. A seguir, é feita uma descrição do estudo de caso e processo de distribuição. Na quinta seção é apresentada a análise dos resultados da pesquisa e realizada a proposição de um modelo matemático para otimização das rotas. E, por fim, é abordada as considerações finais, limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Conforme Alcantara (1999), o atacado possui como função básica coordenar a produção e consumo, combinando demandas e suprimentos heterogêneos, atendendo o varejista e cliente final. De forma complementar, os autores Xavier e Castillo (2011) apontam que, o atacado é a principal forma de abastecimento de produtos, principalmente de gêneros alimentícios, bebidas, higiene e limpeza, para o varejo. À vista que, o varejo é o principal ponto de acesso para consumidores de baixa renda, principalmente em grandes centros urbanos.

Segundo dados da Associação Brasileira de Atacadistas e Distribuidores de Produtos Industrializados (ABAD, 2019), o setor de atacado continua crescendo de forma consistente e contínua e, assim, aumentando o faturamento, alcançando um patamar de R\$261,8 bilhões de reais em 2018. Além disso, o setor manteve uma participação média no mercado de 52,61% nos últimos 15 anos e alcançou em 2018 um percentual de 53,6% de

participação no mercado. Ainda segundo dados da ABAD, tem-se os distribuidores em primeira posição com 40,6%, seguida pelo atacado com entrega, representado 33,7% de importância.

A logística é importante para a otimização dos processos. Desse modo, é responsável pela redução dos custos, mas também, pela capacidade de agregar valor e contribuir para o aumento da margem de lucro (XAVIER; CASTILLO, 2011). Surge assim a roteirização, como importante ferramenta logística para o aprimoramento das operações, que possibilita as empresas otimizarem seus processos e garantirem a qualidade de serviço desejado (PINHEIRO, 2014).

O transporte é parte essencial na logística, visto que, é responsável pela entrega de produto ou serviço, representando o processo de maior custo dentro da logística na maioria das empresas (CITTADIN et al., 2009). O transporte de mercadorias pode ser realizado através de seis modais, são eles: modal terrestre (rodoviário, ferroviário e dutoviário), aquaviário (marítimo e hidroviário) e aéreo. A escolha do modal dependerá dos custos, tempo de viagem, risco de integridade da carga e frequência de disponibilidade do modal (FORMIGINI et al., 2019).

Na América Latina, a falta de investimento em outros modais de transporte tem tornado o uso do modal rodoviário excessivo, contribuindo para que os custos estejam acima da média mundial. Além disto, dados apontam que somente 20% das rodovias da América Latina encontram-se pavimentadas, o que aumenta os custos de distribuição, tanto pela lentidão na entrega quanto pelo aumento do cuidado com os produtos transportados (BARROS, 2015).

O problema de roteamento de veículos surge na literatura com o objetivo de reduzir os custos relacionados ao transporte e, até mesmo, reduzindo o tempo gasto com as viagens. Para isso, o modelo considera diversas variáveis, como a localização dos depósitos e dos clientes, carga a ser transportada, capacidade dos veículos e entre outras, que através da aplicação de métodos de solução geram uma otimização das rotas de entrega. O problema de roteamento de veículos (VRP) advém da necessidade de otimizar as rotas de entrega de produtos feita por veículos, a um número n de clientes distribuídos geograficamente, seguindo diversas restrições existentes.

O modelo básico de VRP apresenta como condições de restrição que a entrega seja feita a partir do depósito para os clientes, sendo que, distância, capacidade a ser entregue e capacidade do veículo, são previamente conhecidas. E, a quantidade de carga total não deverá ultrapassar a capacidade máxima do veículo e os veículos possuem capacidades iguais, ou seja, são homogêneos. Este modelo inicial foi proposto pelos autores Dantzig e Ramser em 1959, conhecido como o Problema de Expedição de Caminhões e pode ser formulado da seguinte forma:

[1] Dado um conjunto de n pontos de entrega P_i ($i = 1, 2, \dots, n$) para quais as entregas são feitas do ponto P_0 , chamado de depósito.

[2] É fornecida uma matriz de distância $[D] = [d_{ij}]$ que especifica a distância $d_{ij} = d_{ji}$ entre cada par de pontos ($i, j = 0, 1, \dots, n$).

[3] É fornecido um vetor de entrega $(Q) = (q_i)$ que especifica a quantidade q_i para ser entregue em cada ponto P_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

[4] A capacidade do caminhão é C , onde $C > \text{máx. } q_i$.

[5] Se $x_{ij} = x_{ji} = 1$ for interpretado a significar que os pontos P_i e P_j estão emparelhados ($i, j = 0, 1, \dots, n$) e se $x_{ij} = x_{ji} = 0$ significa que os pontos não estão emparelhados, obtém-se a condição de que $\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1$, ($i = 1, 2, \dots, n$).

Uma vez que todo ponto P_i está conectado com P_0 ou no máximo um outro ponto P_j . Além disso, por definição, $x_{ii} = 0$ para cada $i = 0, 1, \dots, n$.

[6] O problema consiste em encontrar os valores de x_{ij} que fazem a distância total $D = \sum_{i,j=0}^n d_{ij}x_{ij}$ o mínimo nas condições especificadas em [2] a [5].

No mundo real o número de restrições aferidas ao problema é um fator complicador para a modelagem matemática. É perfeitamente aceitável que existam múltiplos pontos de fornecimento, depósitos ou facilidades, veículos com diversas capacidades, restrições de entrega como tempo ou distância. Todos os fatores devem ser considerados como essenciais para a correta modelagem do problema. Também, devem ser consideradas a relevância das estradas, do tráfego e congestionamento, as quais tornam possível a aplicação do modelo na resolução de problemas reais.

Taillard (1993) classificou os VRP's como problemas NP-difíceis (NP-hard) e sugeriu-se o uso de técnicas de otimização combinatória e métodos heurísticos para as resoluções. Por isso, as diversas contribuições científicas sobre o tema se dividem em abordagens de resolução exatas, como apresentado por Laporte e Norbert (1981) ou em métodos heurísticos como de Toth e Vigo (2002) e Christofides et al. (1981). Os métodos exatos utilizam um tratamento matemático mais rígido, geralmente garantindo o encontro da solução ótima. Contudo, mesmo com a utilização dos melhores algoritmos exatos ainda existem limitações quanto ao número de variáveis que podem ser resolvidas, apresentando dificuldades para solucionar problemas com mais de 100 variáveis (LOPES, 2011). A heurística é considerada uma atividade simples e de baixo custo com o propósito de aperfeiçoar um objeto, não garantindo uma solução ótima, mas fornece bons resultados fazendo-se pouco esforço computacional, gerando assim, soluções adequadas aos objetivos em menor tempo. Essa atividade pode ser dividida em dois grupos: as heurísticas de construção - que resultam em uma solução rápida e razoável - e as heurísticas de melhoria - que buscam soluções melhores ao alternar variáveis e movimentos. As meta-heurísticas, por sua vez, encontram melhores soluções se comparadas com as heurísticas, pois não permitem o direcionamento para uma solução boa se esta estiver muito distante da solução ótima total.

À vista disso, existem variantes do modelo original do VRP. As variantes são consideradas em função das diferentes restrições que as compõem e podem ser utilizadas como modelos classificatórios no momento de análise de um problema real de otimização.

O primeiro modelo apresentado é o VRP Capacitado (CVRP), examinado na literatura pelos autores Christiansen e Lysgaard (2007), este modelo apresenta como restrições que a demanda total não deve exceder a capacidade máxima do veículo; que as rotas devem iniciar e terminar no depósito; e que cada cliente é atendido uma única vez. Segundo os autores, neste modelo a rota possui um único depósito, sendo, que as entregas são realizadas por veículos idênticos cada um com uma capacidade disponível, e devem atender a um conjunto de clientes com quantidade previamente conhecida de mercadorias, além disso, o custo da rota será definido pela distância percorrida pelos veículos para realizar as entregas.

O segundo modelo exposto é o VRP Estocástico (VRPSD), também apontado no trabalho de Christiansen e Lysgaard (2007), o modelo trata de variáveis incertas ou aleatórias durante a rota, como os clientes, a demanda e os tempos de entrega. De forma complementar, os autores Zhang, Lam e Chen (2016) abordam o problema considerando as demandas dos clientes como variável incerta, onde no momento do planejamento e execução da rota tem-se somente o conhecimento da distribuição de probabilidades da demanda e a mesma só é revelada na chegada do veículo no cliente.

O VRP de Múltiplos Depósitos (MDVRP) é a variante onde existe uma frota de veículos que atende a vários depósitos e foi estudada no trabalho dos autores Cordeau, Gendreau e Laporte (1997). Para os autores o modelo consiste em projetar rotas que iniciem e terminem no depósito, com cada cliente pertencente a uma única rota e onde a demanda e a duração total do percurso não ultrapassem valores definidos, buscando-se neste modelo a minimização da duração total de todas as rotas. Assim, o MDVRP é definido em um dia, mas com atendimento a vários depósitos e não apenas um, com cada rota iniciando e terminando em um mesmo depósito.

Estudado por Solomon (1987) o VRP com Time Windows (VRPTW) refere-se à variação do modelo de VRP que possui restrições nas janelas de tempo de atendimento a clientes. Abordado com a restrição de prazos ou horários de entrega que muitos clientes

impõem, o modelo inclui além da otimização de custos, distância e tempos de viagem, também o custo incorrido do atraso ou adiantamento da chegada do veículo em clientes com horários restritos de entrega.

Diferentemente do modelo básico de VRP já citado, existe o modelo com frota heterogênea de veículos (HVRP), que foi abordado pelos autores Gendreau et al (1999), onde existem vários tipos de veículos com características e capacidades diferentes e a roteirização considera para aquele percurso uma otimização conforme o veículo definido. Portanto o objetivo seria definir a melhor composição de veículo e rota.

O modelo de VRP com *Pick-up and Delivering* (PDVRP), no qual as mercadorias podem vir tanto do depósito para os clientes como vice-versa, foi proposto por Mosheiov (1998), incluindo devoluções, trocas ou qualquer outro tipo de mercadoria que o cliente envie para o depósito, além do clássico envio de mercadorias do depósito para os clientes. A proposta abrange a otimização de rotas onde a capacidade do veículo não seja ultrapassada e consiga-se minimizar a distância total percorrida pelo veículo.

O VRP Dinâmico (DVRP) é a variante onde a rota a ser atendida vai sendo gerada em tempo real para os veículos, ou seja, no qual as viagens possuem solicitações dinâmicas, também conhecidas como on-line, por exemplo de aplicação prática temos os serviços de táxi, entregas de pequenas encomendas, serviços de bombeiros e serviços de emergências, como a ambulância e assim por diante. O estudo deste modelo foi realizado por Psaraftis (1988), ele difere essencialmente de um modelo com solicitações estáticas, ou seja, sem movimento, parado, onde as principais diferenças serão enumeradas abaixo:

Para roteamento dinâmico de veículos: (1) A dimensão do tempo é essencial; (2) O problema pode ser aberto; (3) Informações futuras podem ser imprecisas ou desconhecidas; (4) Eventos de curto prazo são mais importantes; (5) Os mecanismos de atualização da informação são essenciais; (6) As decisões de sequenciamento e realocação podem ser justificadas; (7) Tempos de computação mais rápidos são necessários; (8) Mecanismos de adiamento indefinidos são essenciais; (9) A função objetiva pode ser diferente; (10) As restrições de tempo podem ser diferentes; (11) A flexibilidade para variar o tamanho da frota de veículos é menor; (12) Considerações sobre enfileiramento podem se tornar importantes. (PSARAFTIS,1988)

Os autores Malandraki e Daskin (1992) trabalharam o VRP em que o tempo de viagem entre dois clientes ou entre um cliente e o depósito depende da distância entre os pontos e a hora do dia, também conhecido como VRP com Tempo Dependente ou TDVRP. Nesta abordagem, o custo ou o tempo de viagem entre os pontos são conhecidos e constantes, porém, variações no tráfego como acidentes, mudanças climáticas e congestionamento por exemplo, podem causar mudanças na velocidade e conseqüentemente no tempo estabelecido para a viagem, portanto, ele é considerado um problema assimétrico, que dependendo da hora do dia, o tempo e custo de uma viagem podem ser diferente para a mesma rota. Além disso, o modelo pode ou não incluir restrições de janelas de tempo de atendimento.

A variante conhecida como *Two-Echelon* VRP (2E-VRP) foi estudado por Crainic et al. (2010) e é caracterizada pelo roteamento em dois níveis, com um satélite intermediando o depósito e os clientes finais. Nesta proposta, a mercadoria chega ao depósito e sai dela por meio de veículos de primeiro nível (estes possuem capacidades maiores que os veículos de segundo nível) que levam a carga até o satélite (espécie de depósito intermediário) e retornam ao depósito original, a carga ao chegar ao satélite é carregada para os veículos de segundo nível que concluem a rota até os clientes finais e da mesma forma retornam para o satélite para um novo ciclo de entregas. O foco, portanto, deste modelo é diminuir o custo de roteamento global e não ultrapassar as capacidades limites dos veículos e dos satélites.

Outra variação deste problema, seria o Multi-Trip VRP (MTVRP) ou o problema de roteamento de veículos com várias viagens, em que os veículos podem retornar ao depósito para abastecer mercadorias e assim realizar várias viagens durante um dia. Este modelo foi apresentado pelos autores Brandão e Mercer (1997), onde expõe diversas restrições além das básicas do modelo VRP, como a permissão para realização de várias viagens ao depósito durante o dia, sendo que os períodos de pausa e intervalos devem ser seguidos

conforme a lei; os clientes podem impor janelas de tempo de atendimento; e para alguns veículos o acesso a clientes é restrito; os veículos possuem capacidades heterogêneas e, por fim, o tempo de descarga de mercadorias é considerado para a otimização do tempo.

Por fim, cita-se o VRP aberto (OVRP) abordado pelos autores Li, Golden e Wasil (2007), no qual os veículos não necessariamente tem obrigação de iniciar e terminar as rotas no depósito, é utilizado por exemplo em situações onde a entrega é realizada com veículos particulares e não da frota da empresa.

Há também a simulação, que tem uma aplicação importante para o VRP, uma vez que consegue trabalhar melhor com situações práticas da vida real. Este modelo produz análises rápidas e eficazes através do uso de um computador para a realização das simulações, gerando vários cenários possíveis e selecionando o melhor (FAN et al., 2009).

3. METODOLOGIA

Segundo a definição de Cozby (2003), este trabalho foi classificado como uma pesquisa aplicada, pois visa examinar problemas práticos e potenciais soluções. Roesch (2013) complementa que, a pesquisa aplicada visa compreender os problemas reais humanos e gerar possíveis soluções para o mesmo através da compreensão das teorias existentes na literatura, tendo como resultado, portanto, teorias que ajudem a formular programas e soluções para a resolução.

O presente trabalho é enquadrado como uma estratégia de pesquisa, voltada para examinar um fenômeno no seu contexto presente (ROESCH, 2013). Um estudo de caso possui o objetivo de descrever um indivíduo, sendo este uma pessoa, situação ou uma empresa, podendo ser de grande utilidade quando estuda condições raras que de outra forma não teriam como ser examinadas. Além disso, o estudo de caso desenvolve ideias que podem ser continuadas por outros pesquisadores, através da aplicação de outros métodos de pesquisa (COZBY, 2003).

A técnica de coleta de dados escolhida para esta pesquisa foi uma entrevista em profundidade, a mesma visa extrair o máximo de informações do entrevistado, além de permitir que o entrevistador tenha domínio sobre a sequência das questões a serem respondidas.

Para a entrevista foi utilizado como instrumento um roteiro semiestruturado composto por 36 questões abertas, divididas nos seguintes tópicos: caracterização do entrevistado, caracterização da empresa, caracterização dos clientes, caracterização do processo de distribuição e questões gerais. Um roteiro semiestruturado permite ao entrevistador maior autonomia e liberdade para aplicar a entrevista e poder captar as perspectivas do entrevistado sobre determinado assunto, podendo assim, desenvolver questões pertinentes conforme seja necessário no processo de entrevista.

A entrevista foi realizada com o proprietário da empresa, que possui 31 anos de experiência no ramo de atacado e distribuição, a qual foi gravada e após transcrita para a posterior análise.

A análise dos dados consistiu em uma descrição e interpretação da entrevista, visando compreender as particularidades da empresa, histórico, processo, fatos e significados, afim de colaborar com a comparação das características do processo de distribuição com os modelos estabelecidos na literatura sobre o VRP.

4. ESTUDO DE CASO

O VRP é um problema relevante para empresas que possuem seus clientes dispersos geograficamente e que realizam a entrega de mercadorias ou a prestação de serviços, sendo necessário ir até os mesmos, sendo assim, este problema aborda a tentativa de diminuir os custos associados a este processo logístico, seja ele feito por veículos como carro, caminhão ou outro. Geralmente, este problema aborda a diminuição dos custos por meio de uma otimização das rotas existentes da empresa ou depósito até os clientes.

Os estudos de casos tem sido amplamente empregados em pesquisas acadêmicas na área de Administração, principalmente em trabalhos de conclusão de curso e de mestrado, isto ocorre devido a limitação que os estudantes enfrentam de trabalharem com uma ou poucas organizações e também que os mesmos não possuem a sua disposição pessoas para a realização de pesquisa em campo (ROESCH, 2013).

Pode-se citar na literatura alguns exemplos de trabalhos que abordaram o problema de roteamento de veículos através de estudos de caso como o estudo dos autores Kramer, Subramanian e Penna (2012), que trataram do problema de veículos assimétricos com frota heterogênea limitada em uma indústria de bebidas. Tendo como objetivo reduzir os custos de distribuição através da definição de rotas, utilizando de uma adaptação de uma heurística da literatura para gerar soluções de qualidade ao problema.

Outro trabalho foi dos autores De Palma e Cantao (2013), que investigaram o VRP usando a otimização de colônias de formigas, a fim de encontrar uma rota otimizada em relação a distância percorrida, para a resolução do problema em uma coleta seletiva na cidade de Sorocaba-SP.

O estudo de caso dos autores Gonçalves, Steiner e Souza (2013) apresentaram uma metodologia para a distribuição de água mineral em um município de SP, mas como os próprios autores ressaltam, que a mesma pode ser aplicada aos mais diversos serviços de entrega. Utilizaram de programação matemática para chegar a uma solução que atenda a todos os clientes e minimize as distâncias percorridas pela frota de veículos.

Já o trabalho dos autores Leite e Junior (2017) abordam o problema de roteamento de veículos com coleta e entrega simultânea, realizando um estudo de caso em uma indústria de alimentos localizada na região do vale do aço em Minas Gerais. Através da implementação de um modelo de Programação Linear Inteira, os autores compararam o seu desempenho em reduzir custos com o método já utilizado pela empresa para a otimização das rotas.

Os autores Silva, Ferreira e Steiner (2019) apresentam um trabalho acerca de uma alternativa de roteamento otimizado para o transporte coletivo privado em uma indústria química de uma cidade de Curitiba-PR. Para tal, os autores aplicaram diversos modelos teóricos para otimizar a distância total e a emissão de dióxido de carbono gerados no processo, são eles: o modelo matemático do Problema do Vendedor Viajante (TSP), a p-Mediana e a Pesquisa Local Iterada (ILS), heurística, Pesquisa Tabu (TS), Recozimento Simulado (SA) e Clarke & Algoritmo Wright Savings de forma comparativa.

4.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA

A empresa estudada é um atacado com entrega, localizado na cidade de Pelotas, situada no estado do Rio Grande do Sul, atuando no ramo de vendas de produtos de gêneros alimentícios (secos e molhados), produtos de higiene pessoal e produtos de limpeza.

A empresa que existe desde 1988, tem sede administrativa e depósito localizados em Pelotas, e possui uma frota própria de sete caminhões.

Tabela 1- Frota de veículos da empresa

Veículo	Quantidade	Capacidade (kg)
Toco	4	7000
Truck	3	12500
Total	7	65500

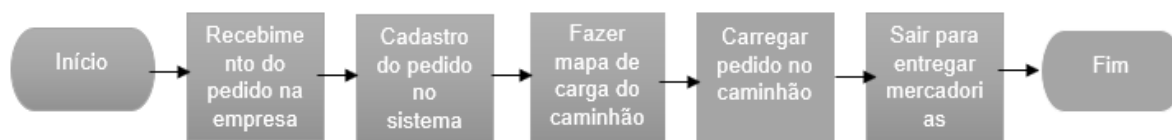
Fonte: Elaborado pelo autor.

A empresa atua em todos os bairros do município de Pelotas, atendendo em média 300 clientes. Além disso, a empresa faz o atendimento tanto da cidade de Pelotas como de outras 15 cidades da região Sul do estado onde opera. A média total de clientes atendidos

em todos os municípios é de 2500, fornecendo mercadorias, principalmente para varejistas, minimercados e outros estabelecimentos, como bares e mercearias de bairros.

As etapas do processo de distribuição da empresa estão descritas na Figura 1. Destaca-se que, as vendas são realizadas pelos vendedores em veículos particulares, que concluem a venda e enviam o pedido do cliente a empresa. Os funcionários do depósito são os responsáveis pelas etapas de 1 a 4 do processo, após, a entrega das mercadorias aos clientes é realizada por um motorista e um ajudante para cada caminhão.

Figura 1 - Etapas do processo de distribuição



Fonte: Os autores.

O objeto de estudo na empresa, compreende o processo de logística de distribuição, que envolve o envio de mercadorias do depósito aos clientes, mais especificamente para a roteirização da frota de caminhões.

Analisou-se o estabelecimento das rotas, critérios, uso de apoio tecnológico, dificuldades, pontos críticos encontrados nas rotas e todas as informações relevantes para a caracterização do processo e comparação com os modelos existentes na literatura.

4.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE DISTRIBUIÇÃO

Todo processo de entrega tem origem e término no depósito e, após, segue para a entrega em todas as cidades. O processo é realizado durante cinco dias por semana, de segunda à sexta-feira.

O carregamento do caminhão é realizado uma única vez por dia, só é permitido uma única viagem ao depósito. O processo de carregamento ocorre no dia anterior à partida, sendo o caminhão é carregado antes de sair e, quando retornam, são preparados para o dia posterior. Não são permitidas paradas entre o depósito e os clientes. Para isto, os caminhões são abastecidos antes de sair e quando retornam.

Os caminhões da frota de veículos da empresa são heterogêneos, ou seja, apresentam modelos diferentes. A empresa utiliza os modelos *toco* e o *truck*, que possuem capacidades de cargas diferentes.

As rotas de entrega não possuem influência no sequenciamento do carregamento, visto que segue o mapa de carga estabelecido pelos funcionários do depósito. Assim, ao chegar no cliente, o motorista e o ajudante realizam a separação do pedido.

Em relação a separação e acondicionamento da mercadoria nos caminhões, a empresa segue as normas dos órgãos de regulação pertinentes, utilizando de divisórias e separações, por exemplo, entre produtos de gênero alimentício e de limpeza.

Em pontos de entregas com distância de até 50 km, o motorista deve realizar a rota e voltar no mesmo dia. A partir de 50 km, o motorista pode dormir na cidade destino e realizar a entrega em um tempo máximo de viagem de 2 dias.

Os clientes a serem atendidos são previamente conhecidos antes do início da rota.

As rotas possuem restrições de que cada cliente seja visitado uma única vez, tendo a demanda totalmente atendida. Caso o cliente estabeleça um horário de entrega específico, o mesmo deve ser respeitado.

A empresa opera somente com entrega de mercadorias. A coleta referente a trocas ou devoluções é atípica e, caso ocorra, deve ser avaliada pela empresa antes. Além disso, os clientes podem realizar a entrega para o próprio vendedor quando realizar as visitas de vendas.

A criação das rotas de entregas da empresa foi desenvolvida na criação da empresa. As rotas são definidas pelo motorista. De acordo com o proprietário, não é

utilizado um critério para a roteirização, sendo mais a percepção do motorista quanto a facilidade e simplicidade da rota. A empresa não utiliza ferramenta ou apoio tecnológico para a criação ou otimização das rotas de entrega, seja dentro da cidade sediada ou intermunicipal.

A empresa não constata pontos críticos ou problemáticos durante o processo de entrega, nem a existência de pontos de melhoria.

Por fim, a empresa não possui o registro de dados sobre o número exato de clientes ou quais são as rotas utilizadas pelos motoristas. Também, não realiza a medição de índices de satisfação dos clientes, número de reclamações e número de atrasos ou problemas nas entregas.

5. RESULTADOS

Nesta seção será apresentada uma comparação entre as características do processo distributivo da empresa e as principais variantes do VRP existentes na literatura. Em seguida, será realizada a proposta de um modelo matemático formulado, para adequar-se as características do processo e fornecer a otimização das rotas, diminuindo os custos associados.

O modelo de roteamento de veículos capacitados estabelece como restrição, dentre outras restrições básicas do modelo de VRP original, que a capacidade máxima do veículo não seja ultrapassada ou excedida, isto é verificado na empresa. Entretanto, um dos pressupostos do modelo é que a frota de veículos seja homogênea, o que não é verificado no caso em estudo.

O modelo de VRP estocástico, postula que existem variáveis não mensuráveis, desconhecidas ou incertas durante a execução da rota, podendo ser inclusive os clientes ou demandas. Este modelo, portanto, não se enquadra na definição do caso estudado. Visto que, a demanda e os clientes a serem visitados são previamente estabelecidos através da elaboração do mapa de carga, que é realizado para o carregamento do caminhão. Pode-se ressaltar que não existem variáveis incertas ou aleatórias durante o estabelecimento da rota de entrega na empresa analisada.

Outro modelo discutido foi o roteamento com *Pick-up and Delivering* ou com coleta e entrega. Como a empresa examinada não possui a coleta de mercadorias, existindo somente casos não comuns de devoluções e trocas, considerou-se que o critério essencial do modelo não é verificado na empresa. Segundo a fala do proprietário: “quando o cliente está fechado a mercadoria tem que voltar, fora isto, caso o cliente queira fazer alguma devolução tem que ser acordado antes, acontece, mas não é tão comum”.

Já o modelo onde a frota de veículos da empresa transita e atende a múltiplos depósitos, não é verificado na realidade da empresa. A empresa possui um único depósito.

Através dos dados obtidos, constatou-se que alguns clientes especificam um horário de atendimento ou turno para ser realizada a entrega das mercadorias, conforme a base do modelo de VRP com janelas de tempo de atendimento. Entretanto, não é a norma geral dos clientes da empresa, onde os tempos para entregas são variáveis, havendo por parte da empresa inclusive atrasos ou não entrega das mercadorias no dia combinado ao cliente.

Existe a variação do VRP onde a frota de veículos não é igual ou homogênea, possuindo capacidades, características e tipos de veículos diferentes, o qual é denominada de VRP com frota heterogênea de veículos. O estudo de caso em questão possui uma frota de veículos com características diferentes, onde o toco ou caminhão semipesado, possui na sua carroceria um eixo simples e o veículo de modelo *truck* ou caminhão pesado, possui eixos duplos na carroceria. Além disso, as capacidades de cargas são diferentes, respectivamente, 7.000kg e 12.500 kg.

No VRP Dinâmico, os clientes a serem atendidos são gerados durante o deslocamento dos veículos. Portanto, não possui uma rota pré-definida por não haver demanda estabelecida. Este modelo difere das características de entrega da empresa estudada, não sendo recomendado como modelo para comparação no estudo.

A variante do VRP com Tempo Dependente define que, o tempo de viagem depende das distâncias entre os pontos de partida e destino, do dia em que é realizado e das variações que ocorrem no tráfego durante a rota. Pode-se dizer que este modelo se aplica ao caso estudado. A empresa exerce as atividades em áreas urbanas e, assim, depende de variáveis externas como o clima e condições de tráfego que podem afetar o tempo de viagem entre os pontos da rota.

Os estudos na literatura também apontam uma outra variante do VRP, nomeada de *Two-Echelon* ou roteamento em dois níveis ou dois escalões. Esta variação do modelo é caracterizada pela existência de um depósito intermediando a rota de entrega entre o depósito principal e os clientes. As características deste modelo não são verificadas na empresa, visto que existe um único depósito e não é permitido aos colaboradores realizarem pontos de parada entre o depósito e os clientes.

O *Multi-Trip* VRP é a variação do VRP original, onde são permitidos a realização de várias viagens ao depósito para carregar o caminhão com mercadorias. Sendo assim, também não é confirmado pelas práticas exercidas na empresa.

Por fim, tem-se o último modelo apresentado no trabalho, que é o modelo de VRP aberto. No modelo, as rotas não têm obrigatoriamente início e término no depósito da empresa. Nesse sentido, não se enquadra como modelo de comparação para a empresa em questão, devido a rota iniciar e terminar no depósito.

Através da análise foi possível verificar que o processo de distribuição da empresa possui diversas características que atendem ao modelo básico de VRP. Entretanto, possui outras características que o fazem se adequar melhor a algumas variantes do modelo.

Portanto, ressalta-se que, ao aplicar o modelo de VRP para a otimização das rotas e do processo de roteamento da empresa em análise, deve-se adicionar duas variáveis pertinentes ao contexto, as quais são a frota de veículos heterogênea e o tempo dependente. As adições podem resultar em um modelo mais explicativo e adequado a realidade vivenciada pela empresa. A qual, necessita que as demandas sejam divididas entre diferentes tipos de caminhões e que os caminhões atendem os clientes nos centros e bairros das cidades, sujeitos a diversos imprevistos do tráfego urbano.

Exposta a análise, sugeriu-se um modelo matemático que formulasse o problema apresentado, visando minimizar os custos decorrentes das rotas de veículos. Nesse sentido, aplicou-se o modelo *Time Dependent Heterogeneous Vehicle Routing Problem* proposto por Azis e Mawengkang (2017). Azis e Mawengkang (2017) descrevem que o problema de roteamento de veículos heterogêneos (HVRP) é uma variante do roteamento de veículos problema (VRP) que descreve vários tipos de veículos com diferentes capacidades para atender um conjunto de clientes com localizações geográficas conhecidas. O problema é definido a seguir:

Seja $G = (V, A)$ um grafo orientado, onde $V = \{0, 1, \dots, n\}$ é um conjunto de vértices e $A = \{(i, j): i, j \in V, i \neq j\}$ é o conjunto da rota. Para cada rota $i, j \in A$ um custo de transporte c_{ij} é definido.

O vértice 0 ($i = 0$) é o vértice do depósito, onde a frota sai e retorna após as entregas.

V_c é o conjunto de vértices de clientes. Cada vértice $i \in V_c$ tem uma demanda determinística $q_i \geq 0$, e um tempo de serviço $s_i \geq 0$.

No depósito, $q = 0$ e o tempo de serviço é $t = 0$.

Uma vez que se trata de um problema heterogêneo, definiu-se uma frota de K veículos compostos por m tipos diferentes de veículos, cada um com capacidade Q_m . O número de veículos disponíveis para o tipo de veículo m é n_m . Definindo K_m como o conjunto de veículo de tipo m .

Cada cliente é atendido por apenas um veículo com o tipo associado. As rotas dos veículos estão restritas a uma duração máxima de H_k , $k = 1, \dots, K$.

Cada tipo de veículo está associado a um custo fixo f_m . Outro custo ocorre pelo transporte pela rota $(i, j) \in A$, definida como $\alpha_{ij}^m = d_{ij} g_{ij}$, onde d_{ij} é a distância percorrida

entre a rota i e a rota j e g_{ij} é um fator de custo para o transporte, para o tipo de veículo m . Além disso, é incorrido um custo fixo de aquisição f_k para cada veículo k nas rotas. Cada rota se origina e termina no depósito.

Nesta estrutura básica, o gestor deseja usar cada tipo veículo disponível com eficiência, de modo que o custo total seja minimizado. O custo total consiste no custo de viagem de todos os veículos utilizados e no custo da disponibilidade do veículo no horizonte de planejamento do dia.

A Equação 1 é a função objetivo.

$$\text{Minimizar } \sum_{j \in V_c} c_{oj} \sum_{k \in K} x_{0j}^k + \sum_{(i,j) \in V_c} \sum_{(i,j) \in V_c} \alpha_{ij}^m x_{ij}^m + \sum_{m \in K_m} f_m z_o^m \quad (1)$$

Sujeito a Equação 2 e Equação 3:

$$\sum_{k \in K} x_{0j}^k = 1, \quad \forall j \in V_c \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ij}^k = 1, \quad \forall i \in V_c \quad (3)$$

As Equações 2 e 3 que garantem que somente um veículo, independentemente do tipo, entregue a cada cliente, retornando após para o depósito.

A Equação 4 de conservação de fluxo, é fundamentalmente necessária para manter a continuidade de cada rota de veículo em cada período de tempo.

$$\sum_{i \in V} x_{ij}^k - \sum_{i \in V} x_{j,i}^k = 1; \quad \forall j \in V_c, \quad \forall k \in K \quad (4)$$

A Restrição 5 garante que cada cliente é atendido apenas pelo veículo disponível e ativo do tipo m .

$$x_{ij}^m \leq z_o^m, \quad (i, j) \in V_c, \quad \forall m \in K_m \quad (5)$$

As Restrições 6 e 7, mostram a disponibilidade de veículos, limitando o número de rota, relacionada ao veículo k para cada tipo, saindo diretamente e retornando ao depósito central.

$$\sum_{j \in V_c} x_{1j}^k \leq 1; \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in V_c, i > 1} x_{i1}^k \leq 1; \quad \forall k \in K \quad (7)$$

A Restrição 8 garante que cada entrega não exceda a capacidade de carga máxima de cada tipo de veículo.

$$\sum_{i \in V_c} d_i \sum_{j \in V_c} x_{ij}^m \leq Q_m; \quad \forall m \in K_m \quad (8)$$

A Restrição 9 estabelece o equilíbrio entre o horário de chegada, duração do serviço, tempo de serviço e tempo de viagem aos clientes nas rotas atribuídas.

$$x_{ij}^m (l_i^m + u_i^m + s_i + t_{ij} - l_j^m) = 0; \quad \forall m \in K_m, (i, j) \in A \quad (9)$$

A Restrição (10) garante que a disponibilidade de número de veículo ativo não exceda o número de veículo disponível no depósito.

$$\sum_{j \in V_c} x_{oj}^m \leq n_m; \quad \forall m \in K_m \quad (10)$$

A resolução do modelo, apresentado nas Equações 1 à 10, é possível através de programação não linear de números inteiros mistos. Uma vez que, aborda problemas de otimização com não linearidades no objetivo e/ou restrições, bem como, variáveis contínuas e inteiras.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente trabalho foi realizar uma análise acerca dos elementos característicos do processo de distribuição, da empresa em questão, e compará-los com os modelos existentes na literatura acerca de VRP.

Para isto, utilizou-se informações coletadas através da entrevista em profundidade, que permitiu analisar a forma como eram estabelecidas as rotas, os critérios utilizados para tal, se havia o uso de apoio tecnológico durante a formulação ou execução das rotas, dificuldades e pontos críticos encontrados nas rotas e todas as informações relevantes para a caracterização do processo.

Com os resultados obtidos foi possível atingir o objetivo indicado no estudo e propor um modelo matemático que atendesse aos critérios, através da utilização do modelo *Time Dependent Heterogeneous Vehicle Routing Problem* proposto por Azis e Mawengkang (2017).

Este modelo abrange além das variáveis básicas do VRP original, a inclusão de duas restrições: frota de veículos heterogênea, roteamento e tempos de viagens dependentes do momento e das condições de tráfegos existentes durante a execução da rota.

Como limitações encontradas para realização do estudo, pode-se citar a dificuldade em obter informações e dados documentados, visto que a empresa não possuía o registro dos dados. Além disso, houve uma limitação quanto ao número de entrevistados para a coleta de dados.

Para trabalhos futuros, sugere-se a implementação do modelo com valores, de forma a tornar o modelo mais fiel às atividades de logística de distribuição. Podendo ainda, apurar os resultados quanto aos objetivos propostos e compará-los com os resultados obtidos através de outros métodos da literatura

Referências

ALCANTARA, R.; L. CHICARELLI. Sistemas de distribuição e arranjos cooperativos: o caso do atacado brasileiro. **Gestão & Produção**, v. 6, n. 3, pp. 219-232, 1999.

ABAD. (2019). Ranking ABAD/NILSEN. Disponível em: <<https://abad.com.br/servicos/dados-do-setor/ranking/>>. Acesso em: 1 nov 2019.

AZIS, Z.; MAWENGGANG, H. Time Dependent Heterogeneous Vehicle Routing Problem for Catering Service Delivery Problem. **Journal of Physics: Conference Series**, série 890, 012103, 2017.

BARROS, M. Desafios da logística na América Latina. **Revista Tecnológica**, ano 20, n. 231, pp. 62-66, 2015.

CHRISTOFIDES, N.; MINGOZZI, A.; TOTH, P. Exact algorithms for the vehicle routing problem, based on spanning tree and shortest path relaxations. **Mathematical programming**, v. 20, n. 1, pp. 255-282, 1981.

CITTADIN, A.; ZANETTE, R. V R.; RITTA, C. de O. Principais custos logísticos que integram a cadeia de valor de uma empresa comercial exportadora. In: **Anais do XVI Congresso Brasileiro de Custos-CBC**. Fortaleza. 2009.

COZBY, P. C. **Métodos de pesquisa em ciências do comportamento**. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H. The truck dispatching problem. **Management science**, v. 6, n. 1, pp. 80-91, 1959.

FAN, W.; XU, H.; XU, X. Simulation on vehicle routing problems in logistics distribution. **COMPEL-The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering**, v. 28, n. 6, pp. 1516-1531, 2009.

FORMIGINI, A.; CRUZ, E. R. da; AZEVEDO, J. M. de; BRITO, M. F. de. Redução de custos do frete na logística de distribuição: estudo de caso em uma empresa do ramo alimentício. In: **Anais do X FatecLog**. Guarulhos, 2019.

LAPORTE, G.; NOBERT, Y. An exact algorithm for minimizing routing and operating costs in depot location. **European Journal of Operational Research**, v. 6, n. 2, pp. 224-226, 1981.

LOPES, P. H. M. **Uma Solução para o Problema de Roteamento de Embarcações de Apoio “Offshore” através da Metaheurística RTR**. 2014. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica - Programa de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PINHEIRO, P. A. **Logística: análise do processo de roteirização das entregas de cargas fracionadas em uma distribuidora atacadista em Campina Grande - PB**. 2014. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) - Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Estadual da Paraíba, , 2014.

ROESCH, S. M. A. **Projetos de Estágio e de Pesquisa em Administração: guia para estágios, trabalhos de conclusão, dissertações e estudos de caso**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2013.

TAILLARD, E. Benchmarks for basic scheduling problems. **European Journal of Operational Research**, v. 64, n. 2, pp. 278-285, 1993.

TOTH, P.; VIGO, D. **The vehicle routing problem**. Italy: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002.

XAVIER, M.; CASTILLO, R. A reprodução do atacado distribuidor como um elo entre os dois circuitos da economia urbana no Brasil. **GEOSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 29, pp. 3-17, 2011.