

Problema de Relay no transporte rodoviário de cargas

Amanda de Fátima Mello Macedo (PPGMNE/GTAO/UFPR) amanda.m.macedo@hotmail.com

José Eduardo Pécora Junior (PPGMNE/PPGEP/GTAO/UFPR/CIRRELT) pecora@ufpr.br

Gustavo Valentim Loch (PPGMNE/PPGEP/GTAO/UFPR) gustavo.gvalentim@gmail.com

Resumo:

A utilização de pontos de relay como locais de troca de motorista têm sido estudada com o intuito de resolver problemas do transporte rodoviário de cargas. Dentre esses problemas se encontra o descontentamento dos caminhoneiros com a profissão, por conta das longas viagens que precisam realizar, levando-os a ter o retorno para casa com menos frequência. Outros problemas também são identificados, como acidentes devido ao cansaço e desgaste físico e as altas taxas de rotatividade dos motoristas que trabalham em empresas que realizam transporte de longa distância. Devido a esses fatos, este artigo elenca alguns trabalhos que expõem esse assunto na literatura, identifica as diferentes abordagens utilizadas para as redes de relay, mostra como cada uma foi resolvida e os resultados que foram obtidos. Além disso, este trabalho também trás uma formulação de um modelo matemático para um problema de relay definido e a solução de um exemplo para verificar a validade da elaboração feita. Diante disso, os pontos de relay se mostraram uma boa alternativa para tratar os problemas mencionados.

Palavras chave: Pesquisa Operacional, Problema de Relay, Logística.

Relay problem in road freight transportation

Abstract

The use of relay points as places of driver exchange has been studied in an attempt to solve problems of road freight transport. Among these problems is the discontent of the truck drivers with the profession because of the long journeys, leading them to return home less frequently. Accidents due to fatigue and physical wear and the high turnover rates of drivers working in companies carrying out long distance transport are other problems identified. Therefore, this article summarizes some of the works that expose this issue in the literature, and identifies the different approaches used for relay networks, showing how each was solved and the results that were obtained. In addition, the present paper also brings a formulation of a mathematical model for a defined relay problem and the solution of an example that seeks to verify the legitimacy of the elaboration made. Thereby, the relay points have proved to be a good alternative to solve the mentioned problems.

Key-words: Operational Research, Relay Problem, Logistics

1. Introdução

Com uma grande porcentagem de participação, o transporte rodoviário de cargas é o modal mais utilizado no Brasil. Segundo a estimativa realizada pelo Boletim Estatístico de 2018 da Conferência Nacional do Transporte - CNT, o modal rodoviário apresenta um peso estimado em 485.625 milhões de TKU's e representa 61,1% transporte de cargas do país em relação aos outros tipos de transporte, como o ferroviário, o aquaviário, o dutoviário e o aéreo (CNT, 2018). A Tabela 1 mostra esses dados e dos outros modais.

Matriz do Transporte de Cargas		
Modal	Milhões (TKU)	Participação (%)
Rodoviário	485.625	61,1
Ferroviano	164.809	20,7
Aquaviário	108.000	13,6
Dutoviário	33.300	4,2
Aéreo	3.169	0,4
Total	794.903	100,0

Fonte: CNT (2018).

Tabela 1 – Porcentagem dos meios de transporte de cargas no Brasil

Mesmo mediante essa predominância, o transporte rodoviário de cargas brasileiro enfrenta problemas que comprometem seu desempenho. O plano CNT de transporte e logística relata que há uma má gestão e deficiência de projetos (CNT, 2014). Isto acarreta em custos elevados com pernoite, alimentação e com a alta rotatividade por conta do descontentamento dos trabalhadores dessa área. Ocorrem também, acidentes ocasionados por cansaço devido ao período elevado na estrada, desperdício de tempo quando o motorista precisa retornar da viagem com o caminhão vazio por causa de dificuldades de planejamento e organização das rotas e quando o caminhão fica parado no período de descanso do motorista, tendo em vista que pela Lei nº 13.103/2015, de 02 de março de 2015, o horário de trabalho dos motoristas é estipulado em no máximo 10 horas (BRASIL, 2015). Uma pesquisa realizada pela CNT em 2016, com vistas a identificar o perfil dos caminhoneiros, mostrou que entre os pontos negativos da profissão relatados pelos profissionais está a falta de segurança na estrada, o desgaste e o convívio familiar comprometido (CNT, 2016).

A divisão desse modal é feita em duas categorias, Less-Than-Thunkload (LTL) e Full-Truckload (TL), também conhecidos como Carga Fracionada e Carga Completa, respectivamente. Na categoria Carga Fracionada (LTL) o caminhão é carregado com mais de uma carga e com mais de um destinatário a ser visitado. Na categoria Carga Completa (TL), o transporte é realizado com uma única mercadoria da origem ao destino, por um único motorista, sendo chamada também de despacho ponto a ponto (PtP) (MELTON, 2012). Neste artigo será levado em consideração apenas o transporte do tipo Carga Completa, pois é nele em que ocorrem problemas por conta do trajeto estendido dos motoristas. E ainda, segundo Üster e Kewcharoenwong (2011), Melton (2012), Vergara e Root (2013), Li et al. (2016), Kewcharoenwong e Üster (2017) e Yildiz et al. (2018), é o transporte TL que sofre com as elevadas taxas de rotatividade dos motoristas, mostrando uma preocupação com esse fato não só no Brasil, mas em outros países. Segundo a American Trucking Associations – ATA, a taxa de rotatividade dos trabalhadores do transporte TL foi de 88% no último trimestre de 2017, gerando preocupações com a falta de profissionais e com os custos decorrentes deste problema (ATA, 2018).

Conforme Üster e Kewcharoenwong (2011), os motivos que levam a insatisfação dos caminhoneiros são os períodos prolongados na estrada, entregas sucessivas, horários de trabalho irregulares e o longo tempo que permanecem longe de casa. Além disso, Melton (2012) acrescenta que geralmente, as jornadas de trabalho dos motoristas são de 70 horas durante oito dias ou de 60 horas durante sete dias, tendo que ficar longe de casa em torno de duas a quatro semanas. Essas horas prolongadas na estrada ocasionam situações precárias de trabalho em que os motoristas precisam permanecer no caminhão, dirigindo ou dormindo. Melton (2012) também destaca o descontentamento dos motoristas com os salários menores em relação as outras profissões, o distanciamento da supervisão da empresa e as rotas

irregulares que precisam cumprir. As empresas, por sua vez, se preocupam com a falta de pessoal, com custos com treinamentos, acidentes e equipamentos.

Como uma alternativa para este problema, esse trabalho apresenta uma abordagem que tem por objetivo determinar pontos em que os motoristas possam trocar de caminhão com outros motoristas, para que seus percursos de trabalho sejam reduzidos e para que os retornos para casa possam ser mais frequentes. Esses locais onde ocorrem as trocas são chamados de pontos de relay. Desta forma, uma rede de relay é um sistema que inclui pontos de relay nas rotas realizadas pelos motoristas em que eles possam trocar de caminhão com outros motoristas. A determinação dos pontos de relay será por meio de um modelo de programação inteira, numa rede com pontos de origem/destino, pontos de relay potenciais e caminhões partindo de cada ponto de origem/destino. O custo é referente a troca dos caminhões nos pontos de relay e o modelo determinará as trocas com menores custos.

Ali et al. (2002) descreve os pontos de relay como subestações onde os caminhoneiros podem trocar de caminhão, de reboque, descansar, deixar suas cargas para que outros caminhoneiros possam pegar em outro momento, dentre outras utilidades. Cyanczuk (2017) considera os pontos de relay como uma alternativa para reduzir os trajetos prolongados que precisam ser cumpridos pelos motoristas. Segundo a autora, este pode ser um motivo de acidentes, por conta do cansaço e da irregularidade no sono desses profissionais. Cyanczuk (2017) também aborda as redes de relay como uma solução para reduzir custos extras, que são gastos pelas empresas, com pernoite e alimentação dos motoristas em seus períodos de trabalho.

Mediante o exposto, nesse artigo será feita uma revisão da literatura em que esse assunto é abordado, de modo a conhecer melhor as utilizações das redes de relay e os métodos de solução. Além disso, também foi proposta uma abordagem para o problema e uma solução por meio de um modelo de programação inteira. A função objetivo do modelo minimiza os custos das trocas de caminhões que são calculados de acordo com a distância entre os pontos de origem/destino e os pontos de relay potenciais. O modelo foi implementado com um exemplo simples e resolvido, sendo analisada a solução e a validação da elaboração do modelo, tendo sido satisfatória, pois a solução foi coerente com a função objetivo e com as restrições.

As demais seções do artigo estão organizadas da maneira exposta a seguir. Na Seção 2 está o referencial teórico do assunto, com as diferentes maneiras da utilização das redes de relay. A Seção 3 descreve a definição do problema de relay abordado nesse artigo. A Seção 4 trás uma abordagem de solução com a formulação um modelo matemático de programação inteira para o problema de relay definido na Seção 3. Finalmente, a Seção 5 aborda algumas considerações sobre o que foi abordado nesse trabalho.

2. Referencial Teórico

Os estudos sobre a utilização de redes de relay são bem diversificados, tanto quanto ao design como quanto a aplicação. Quanto ao design alguns estudos abordaram redes tipo hub-and-spoke, onde os hubs atuam como relays, com combinação de rede de relay com despachos PtP, com pontos de relay incluídos na rota ou com um desvio na rota, dentre outros designs. Quanto as aplicações, os pontos de relay podem servir como locais de troca de caminhão, estações de carregamento de caminhões elétricos e além das utilizações em problemas de transporte, pode também ser usado em sistemas de telecomunicação.

Ali et al. (2002) apresentam três diferentes heurísticas para determinar um número mínimo de pontos de relay em uma rede rodoviária, com restrição de distância máxima a ser percorrida pelo motorista. Na primeira heurística, a escolha é pelo caminho mais curto, na segunda heurística, há possibilidade do motorista fazer um desvio da rota para utilizar os pontos de relay e na terceira também há possibilidade de desvio na rota, mas utilizando o caminho mais curto até um ponto de relay e depois retornar pelo caminho mais curto. Os experimentos computacionais mostraram que na utilização da primeira heurística houve mais pontos de relay utilizados, o que resulta em mais custo para as empresas por causa da implantação desses pontos, mas as distâncias a serem percorridas foram maiores, sendo vantajoso para os motoristas, que receberiam salários maiores. Nas duas heurísticas com desvio de rota os resultados foram melhores do que os da primeira, pois apresentaram uma menor quantidade de pontos de relay e na terceira heurística a quantidades de relays utilizados foram menores ainda.

O trabalho de Üster e Kewcharoenwong (2011) tinha por objetivo desenvolver um design estratégico com pontos de relay, nós relacionados a esses pontos e rotas que realizassem o caminho da origem ao destino. O design proposto por eles se assemelhava a uma rede de hub-and-spoke, sendo os hubs, que são locais de consolidação, usados como os pontos de relay e com spokes relacionados a cada hub. A resolução do problema foi por um método baseado em Decomposição de Benders, técnicas para aceleração do método e uma heurística de busca local. Os experimentos computacionais mostraram uma melhoria com a utilização da rede de relay em relação ao aumento de transporte, a redução de custos, a redução da distância da viagem e a redução da taxa de rotatividade.

Em Li et al. (2011) o problema de design de rede direcionada com relays (DNDR) foi resolvido por duas formulações matemáticas. No DNDR o objetivo é introduzir um subconjunto de arcos e localizar pontos de relays num determinado conjunto de nós. Neste problema, deseja-se que o custo dos arcos e dos relays seja minimizado num caminho direcionado e com uma restrição de distância entre a origem e o primeiro relay, entre dois relays consecutivos e entre o último relay e o destino. Na primeira formulação, o problema foi resolvido com instâncias pequenas por solvers como o CPLEX e o LINGO e na segunda, utilizaram um método Branch-and-Price, relaxando variáveis binárias e inteiras. A partir de experimentos computacionais, os autores puderam constatar que para instâncias pequenas a primeira formulação se mostrou mais eficiente, por não precisar de uma programação dispendiosa, embora a segunda tenha apresentado valores menores de GAP. Além disso, os tempos computacionais da segunda formulação foram menores e a primeira apresentou soluções inteiras com baixa qualidade. Para grandes instâncias, o tempo computacional aumentou consideravelmente quando aumentado o tamanho da rede. Por conta disso, os autores propuseram melhorar seus algoritmos.

O design proposto por Vergara e Root (2013) mistura redes de relay e despachos PtP, de maneira que os custos com transporte e com a implantação dessa rede seja minimizado. A formulação de um modelo matemático tinha por objetivo definir a posição dos pontos de relay e em que momento seria melhor utilizar os pontos de relay ou o despacho PtP. Resolveram essa formulação por uma abordagem exata e por uma heurística e compararam esse design com um design que sempre utilize relays. Com os testes computacionais verificaram que as frotas mistas são mais vantajosas a medida que o custo da implantação do ponto de relay cresce. Também, como as frotas mistas utilizam um número menor de relays, há redução de custos e uma quantidade menor de pontos de relay para gerenciar. Outra verificação feita pelos autores foi de que tanto as frotas mistas quanto as somente de relay são mais vantajosas

do que uma rede que só utilize despacho PtP, tendo bons resultados não só com os custos, mas também com o tempo médio de transporte e de utilização dos caminhões.

O problema proposto por Li et al. (2016) foi o de custo mínimo com restrições de recursos com relays (RM CPR). Neste problema, deseja-se encontrar um caminho de custo mínimo entre a origem e o destino com pontos de relay ao longo do caminho. Considerando que há restrições de recursos entre a origem e o primeiro relay, entre quaisquer dois relays consecutivos e entre o último relay e o destino. Os autores desenvolveram uma formulação denominada pattern-chain e utilizaram um método de resolução baseado em geração de colunas. A cada iteração da geração de colunas, o subproblema de preço era resolvido para que pudesse ser escolhida uma coluna para entrar na base, mas para resolver esse subproblema de maneira eficiente, os autores utilizaram uma relaxação lagrangiana. Os resultados dos testes computacionais mostraram que o método utilizado pelos autores superou dois algoritmos labeling e o CPLEX em soluções encontradas e em tempo computacional.

Xie e Jiang (2016) abordaram o problema de caminho mínimo com atribuição de tráfego em equilíbrio sujeito a um requisito de relay ao longo do caminho. A intenção para esse problema é atender as demandas dos veículos elétricos ou que utilizem combustíveis alternativos, de maneira a obter uma sustentabilidade e benefícios ambientais no sistema de transporte. Desta forma, os pontos de relay atuam como locais de carregamento desses caminhões, pois o alcance dos veículos elétricos não é muito grande. Os autores elaboraram uma formulação de programa inteira não-linear e para tornar o problema mais real, incluíram o congestionamento de tráfego e o equilíbrio de rede. Eles resolveram a formulação por um método de decomposição de Benders, para resolver o problema primal utilizaram um algoritmo de projeção de gradiente modificado e para resolver o problema mestre relaxado utilizaram um algoritmo labeling. Os métodos propostos foram utilizados para resolver um conjunto de problemas de uma rede exemplo e com isso, mostraram que os fluxos de equilíbrio de rede podem ser remodelados pelo limite de alcance de direção e pela localização da estação de relay.

Como em Üster e Kewcharoenwong (2011), o trabalho de Kewcharoenwong e Üster (2017) apresenta uma rede de relay como uma rede de hub-and-spoke, mas com o acréscimo de restrições de capacidade de links e de desequilíbrio de links, para tornar o problema mais próximo de realidades como a quilometragem vazia, a disponibilidade do motorista e dos recursos. Neste estudo, dois tipos de motoristas são identificados, o de pista, que faz viagens entre os pontos de relay e o local, que realiza o transporte entre os pontos de origem/destino e os relays, havendo restrição de distância entre percursos locais e de pista. Desta forma, o problema visa determinar os locais que serão pontos de relay, as interconexões destes com os pontos de origem/destino e as rotas. Os autores propuseram um algoritmo de decomposição lagrangeana para resolver o problema com grandes instâncias. De acordo com os resultados dos testes computacionais, o algoritmo proposto funcionou bem e o problema se tornou mais realista com as restrições acrescentadas. Também, houve uma melhoria na distribuição dos fluxos entre pontos de relay, apresentando valores menores de desequilíbrio de link.

Em Yildiz et al. (2018) foi estudado o problema de design de rede com relays (NDR) com múltiplas mercadorias, no caso em que cada demanda tem uma fonte designada com frequência e depois disto, estudaram o problema de rede de fonte única com relays (NDR-S). Este problema foi abordado como um grafo, no qual os pares de origem-destino (OD) são determinados e é atribuído um custo a cada link. O problema tem o objetivo de escolher um subconjunto de links com menor custo possível, desde que seja permitido o roteamento entre o par OD. Os autores utilizaram uma rede real e uma virtual para que pudessem obter um

design ótimo para cada uma delas. Para a resolução do problema, elaboraram uma formulação de cortes baseada em árvores de Steiner e utilizaram também desigualdades válidas e cortes de otimalidade. Como o problema possuía um número exponencial de restrições e variáveis, eles implementaram um algoritmo branch-and-price-and-cut para sua resolução. Os testes computacionais mostraram a eficiência do algoritmo para solução de grandes instâncias.

3. Definição do Problema

Para ilustrar o design proposto por este artigo, dois locais de origem/destino A e B são determinados e considera-se que uma empresa realize o transporte de mercadorias de A para B e também de B para A, como mostra a Figura 1. Com isso, considera-se que um motorista dessa empresa, que esteja partindo de A, precise realizar uma entrega em B e supõe-se que ele leve oito horas para percorrer esse trajeto. Desta forma, ele não poderá retornar para A ao final da entrega, pois seu horário de trabalho teria sido cumprido. Mas se houvesse um local na rota, P1, em que ele pudesse trocar de caminhão com um motorista que estivesse saindo de B em direção a A, ele não precisaria ir até o fim do percurso e a sua entrega seria feita pelo motorista que partiu de B. Assim, quem saiu de A, para em P1, troca de caminhão e retorna para A, da mesma forma acontece com quem saiu de B, como na Figura 2. Assim, as entregas são realizadas, cada motorista retorna para seu local de partida ao fim das oito horas trabalhadas e P1 atua como um ponto de relay.

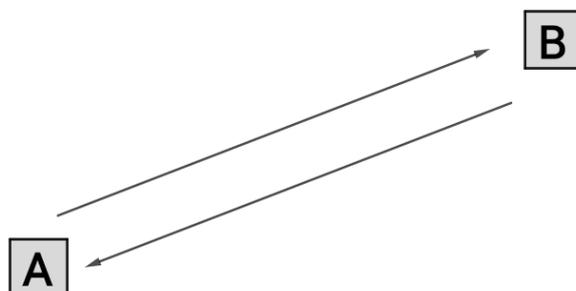


Figura 1 - Rota de um motorista de uma empresa de transporte rodoviário de cargas

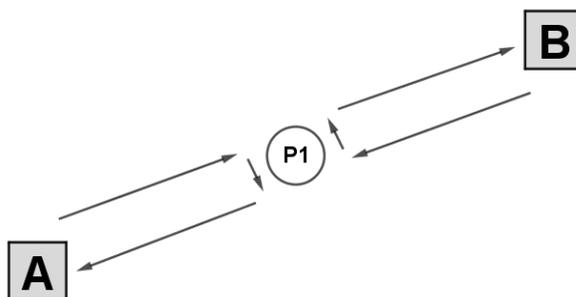


Figura 2 - Exemplo do uso de um ponto de relay

Para a elaboração do modelo matemático, considerou-se um trajeto com dois locais de origem/destino A e B e com quatro pontos de relay potenciais ao longo desse trajeto, como mostra a Figura 3. Assim, dado uma quantidade n de motoristas partindo de A e n de B, o

modelo proposto tem objetivo determinar qual motorista de A deverá trocar com qual motorista de B em qual ponto de relay, de modo que o custo para a realização da troca seja mínimo. As restrições garantem que cada caminhão que sai de A só pode realizar troca num único ponto de relay, da mesma forma para os caminhões de B e também, só é permitido que cada caminhão, tanto de A como de B, realize troca uma vez. O modelo exemplo de programação inteira é apresentado na Seção seguinte.

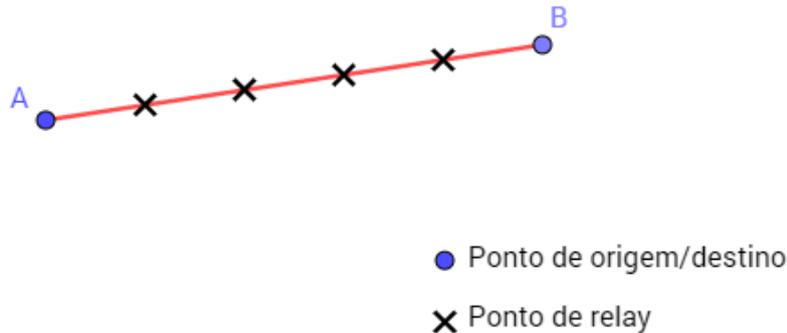


Figura 3 - Exemplo de pontos de relay potenciais nos caminhos de A para B e de B para A

4. Modelo de Programação Inteira - MIP

4.1 Conjuntos

C_A : caminhões que tem a origem da rota em A, com $i = 0, 1, 2, \dots, n - 1$.

C_B : caminhões que tem a origem da rota em B, com $j = 0, 1, 2, \dots, n - 1$.

R: pontos de relay, com $r = 0, 1, 2, 3$.

4.2 Parâmetro

c_{ij}^r : custo da realização da troca do caminhão i de C_A com o caminhão j de C_B no ponto de relay r de R;

4.3 Variáveis de Decisão

$$x_{ij}^r = \begin{cases} 1 & \text{se os caminhões } i \text{ e } j \text{ realizam troca} \\ & \text{no ponto de relay } r; \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$z_{ir} = \begin{cases} 1 & \text{se o caminhão } i \text{ realiza troca no ponto de} \\ & \text{relay } r; \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$z_{jr} = \begin{cases} 1 & \text{se o caminhão } j \text{ realiza troca no ponto de} \\ & \text{relay } r; \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

4.4 Função Objetivo

$$\text{Minimizar } \sum_{r=0}^3 \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} c_{ij}^r x_{ij}^r \quad (1)$$

4.5 Restrições

$$\sum_{r=0}^3 z_{ir} = 1, \quad \forall i \in C_A; \quad (2)$$

$$\sum_{r=0}^3 z_{jr} = 1, \quad \forall j \in C_B; \quad (3)$$

$$\sum_{j=0}^{n-1} x_{ij}^r = z_{ir}, \quad \forall i \in C_A, r \in R; \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} x_{ij}^r = z_{jr}, \quad \forall j \in C_B, r \in R; \quad (5)$$

$$x_{ij}^r, z_{ir}, z_{jr} \in \{0,1\}$$

A função objetivo (1) minimiza o custo das trocas dos caminhões nos pontos de relay, determinando qual caminhão i irá realizar troca com qual caminhão j e em qual ponto de relay r . Os conjuntos de restrições (2) e (3) garantem que cada caminhão i e que cada caminhão j , respectivamente, realizem troca em um único ponto de relay. O conjunto de restrições (4)

garante que se um caminhão i realiza troca num ponto de relay r , somente um caminhão j pode realizar troca nesse ponto. Analogamente, com o conjunto de restrições (5), garante-se que se um caminhão j que realiza troca num ponto de relay r , há um único caminhão i que realizará troca nesse ponto.

4.6 Exemplo

O MPI foi implementado em linguagem de programação Visual Basic.NET 2017 utilizando o software Gurobi Optimization, versão 7.5.2. Para o caso em que há dois caminhões que saem do ponto A e dois que saem do ponto B, ou seja, $i = 2, j=2$ e com os custos dados,

$$c_{00}^0 = 3, c_{00}^1 = 9, c_{00}^2 = 7, c_{00}^3 = 2, c_{01}^0 = 22, c_{01}^1 = 14, c_{01}^2 = 7, c_{01}^3 = 4, c_{10}^0 = 12, c_{10}^1 = 8, c_{10}^2 = 6, c_{10}^3 = 2, c_{11}^0 = 20, c_{11}^1 = 13, c_{11}^2 = 6, c_{11}^3 = 3$$

Foi obtida a solução ótima para este problema apresentada na Figura 4.

```
# Solution for model Problema de Relay
# Objective value = 5
X0_0_0 0      ZA0_0 0
X0_0_1 0      ZA0_1 0
X0_0_2 0      ZA0_2 0
X0_0_3 1      ZA0_3 1
X0_1_0 0      ZA1_0 0
X0_1_1 0      ZA1_1 0
X0_1_2 0      ZA1_2 0
X0_1_3 0      ZA1_3 1
X1_0_0 0      ZB0_0 0
X1_0_1 0      ZB0_1 0
X1_0_2 0      ZB0_2 0
X1_0_3 0      ZB0_3 1
X1_1_0 0      ZB1_0 0
X1_1_1 0      ZB1_1 0
X1_1_2 0      ZB1_2 0
X1_1_3 1      ZB1_3 1
```

Figura 4 - Solução do MIP

O modelo determinou que o $x_{00}^3 = 1, x_{11}^3 = 1$, das variáveis z_{ir} , $z_{03} = 1, z_{13} = 1$ e das variáveis z_{jr} , $z_{03} = 1, z_{13} = 1$. Isso significa que o caminhão 0 que parte de A realizará troca com o caminhão 0 que parte de B no ponto de Relay 3, o caminhão 1 que parte de A realizará troca com o caminhão 1 que parte de B no ponto de relay 3. O custo da troca do caminhão 0 de A com o caminhão 0 de B no ponto de relay 3 é $c_{00}^3 = 2$ e o custo da troca do caminhão 1 de A com o caminhão 1 de B no ponto de relay 3 é $c_{11}^3 = 3$. Sendo assim, o valor da função objetivo da solução ótima é 5.

5. Considerações Finais

As redes de relay podem ser uma boa opção para os problemas que o transporte rodoviário de cargas tem enfrentado. Neste artigo, foram apresentadas diferentes maneiras de utilização dessas redes e suas abordagens de solução. Também foi proposto um modelo exemplo de programação inteira com objetivo de minimizar os custos das trocas de caminhão determinando os pontos de relay com e os caminhões com trocas mais vantajosas. Isto reduz os problemas do percurso extenso dos motoristas e aumenta os retornos para casa, possibilitando uma melhoria no convívio familiar e social do motorista, em seu descanso e na questão do desgaste físico. Como consequência disso, espera-se que a taxa de rotatividade reduza, visto que as condições de trabalho dos caminhoneiros apresentaria uma melhora em vários aspectos, além de reduzir custos para as empresas.

As contribuições apresentadas neste trabalho são a revisão da literatura e o modelo matemático. A primeira se trata de resumos de trabalhos que tinham como tema as redes de relay, desta forma, mostrou-se as diferentes abordagens do uso das redes, os métodos de solução e os resultados obtidos. Na segunda contribuição, foi elaborado um modelo matemático para a determinação dos pontos de relay a serem utilizados e quais pares de caminhões realizariam troca nesses pontos, tendo como restrições que cada par de caminhão só poderia realizar troca num único ponto de relay e cada caminhão partindo de um local só poderia realizar troca com um único caminhão do outro local.

Considerando que o tema abordado é novo e pouco explorado, visto que as datas das publicações são recentes, ainda há muitas possibilidades de estudos feitos nessa área. Desta forma, em trabalhos futuros, a pretensão para melhoria e continuação deste assunto é aumentar a quantidade de locais de origem/destino, de rotas e de pontos de relay potenciais. Pretende-se também permitir a realização de troca em mais de um ponto de relay e, neste caso, deve-se determinar uma distância máxima a ser percorrida pelo motorista, levando-o a parar nos pontos de relay ao longo do caminho. E uma última mudança é o acréscimo dos horários de partida de cada caminhão, de modo a calcular e minimizar o tempo de espera para realizar a troca.

Referências

ALI, T. H. RADHAKRISHNAN, S; PULAT, S; GADDIPATI, N. C. *Relay Network Design in Freight Transportation systems*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 38, pp. 405-422, November 2002.

ATA. American Trucking Associations. *Truckload Turnover Rate Sinks in Final Quarter of 2017*. Disponível em: <http://www.trucking.org/article/Truckload-Turnover-Rate-Sinks-in-Final-Quarter-of-2017>>. Acesso em: 8 maio 2018.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. Boletim Estatístico. 2018. Disponível em: <<http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/BOLETIM%20ESTAT%20C3%8DSTICO/BOLETIM%20ESTAT%20C3%8DSTICO%202018/Boletim%20Estat%20C3%ADstico%20-%202001%20-%202018.pdf>>. Acesso em: 07 maio 2018.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. *Plano CNT de Transporte e Logística*. 2014. Disponível em: <<http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Plano%20CNT%20de%20Log%20C3%ADstica/Plano%20CNT%20de%20Transporte%20e%20Logistica%202014.pdf>>. Acesso em: 07 maio 2018.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. *Pesquisa CNT Perfil dos Caminhoneiros*. 2016. Disponível em: <

http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Pesquisa%20de%20Perfil%20dos%20Caminhoneiros/Pesquisa_CNT_de_Perfil_dos_Caminhoneiros_2016_Completo.pdf>. Acesso em: 08 maio 2018.

CYGANCZUK, M. S. *Modelo de Otimização Para o Problema de Escalonamento dos Motoristas de Caminhão Com Base na Regulamentação Brasileira*. 2017. 87. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2017.

KEWCHAROENWONG, P; ÜSTER, H. *Relay Network Design with Capacity and Link-Imbalance Considerations: A Lagrangean Decomposition Algorithm and Analysis*. *Transportation Science*, vol. 51, pp. 1177-1195, November 2017.

LI, X; ANEJA, Y. P.; HUO, J. *Using branch-and-price approach to solve the directed network design problem with relays*. *Omega*, vol. 40, pp. 672-679, December 2011.

LI, X; LIN, S; TIAN, P; ANEJA, Y. P. *Models and column generation approach for the resource-constrained minimum cost path problem with relays*. *Omega*, vol. 66, pp. 79-90, February 2016.

MELTON, K. D. *Truckload Freight Transportation Utilizing Relay Points To Improve The Driving Job*. 2012. 250. Dissertation (Doctor of Philosophy) - Faculty of the Graduate College, Oklahoma State University, Oklahoma. 2012.

ÜSTER, H; KEWCHAROENWONG, P. *Strategic Design and Analysis of a Relay Network in Truckload Transportation*. *Transportation Science*, vol. 164, pp. 505-523, November 2011.

VERGARA, H. A; ROOT, S. *Mixed Fleet Dispatching in Truckload Relay Network Design Optimization*. *Transportation Research Part E*, vol. 54, pp. 32-49, March 2013.

XIE, C; JIANG, N. *Relay Requirement and Traffic Assignment of Electric Vehicles*. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 31, pp. 580-598, 2016.

YILDIZ, B; KARASAN, O. E; YAMAN, H. *Branch-and-price approaches for the network design problem with relays*. *Computers and Operations Research*, vol. 92, pp. 155-169, 2018.