

Algoritmo Nebuloso de Distribuição de Vagões Vazios

Joelma Cristina Costa , Rodrigo Gonçalves , Fernando Gomide (Orientador)

Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial (DCA)

Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC)

Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

Caixa Postal 6101, 13083-970 – Campinas, SP, Brasil

{joelma,gomide}@dca.fee.unicamp.br,rodrigo@cflex.com.br

Abstract – This paper suggests a fuzzy algorithm to plan empty car distribution considering strategic and operational information. The algorithm is based on a network flow model that considers the train schedule, trains routes, and railroad operation rules. The fuzzy algorithm consider strategic information such as customer reliability, planning horizon, and uncertainty in cars demand. The classic models found in the literature do not consider strategic informations in car distribution plans. In practice strategic information is essencial to develop satisfactory plan and are always taken into account when the distribution planning is constructed by experienced railway planners. Experimental results show that the fuzzy algorithm provides realistic and efficient solutions from the point of view of solution quality and computational performance.

Keywords – Empty Car Distribution, Fuzzy Optimization, Railway Planning.

1. Introdução

O transporte ferroviário inclui uma série de oportunidades de otimização no planejamento tático, estratégico e operacional. Dentre as oportunidades destaca-se o planejamento da distribuição e alocação de vagões.

O problema de distribuição de vagões consiste basicamente no planejamento da movimentação dos vagões vazios na ferrovia de modo a atender à demanda de transporte da ferrovia e minimizar os custos associados a movimentação dos vagões. Portanto, a distribuição de vagões consiste basicamente na atribuição dos pares vagão-demanda com o objetivo de maximizar o atendimento a demanda de transporte e minimizar os custos de movimentação.

O problema da alocação de vagões vazios envolve muito mais o conhecimento estratégico do que o conhecimento puramente formalizável em modelos matemáticos [3]. Em geral, o processo de alocação combina o conhecimento e a experiência operacional com modelos formais para encontrar soluções ótimas para o sistema real.

Exemplos de conhecimento estratégico considerado por distribuidores e alocadores de vagões incluem: a) confiabilidade dos clientes; b) previsibilidade do pedido no horizonte de tempo; e c) imprecisão da quantidade de vagões solicitados. O conhecimento estratégico influencia diretamente a qualidade da solução gerada pelos algoritmos de distribuição e alocação e não é considerado pelos modelos matemáticos da literatura.

Este trabalho propõe um algoritmo nebuloso para a distribuição de vagões capaz de considerar informações estratégicas.

2. Algoritmo fuzzy de distribuição de vagões vazios

O algoritmo nebuloso de distribuição de vagões utiliza números nebulosos para modelar e tratar a imprecisão na quantidade de vagões das demandas de transporte. As entradas para o algoritmo são: a) demandas de transporte; b) grade de trens; c) posição dos vagões na malha; e d) informações estratégicas. As saídas do algoritmo de distribuição são as atribuições vagão-demanda.

2.1. Modelagem

O algoritmo nebuloso de distribuição de vagões é similar ao algoritmo de distribuição clássico. A diferença é que o algoritmo nebuloso considera a imprecisão na demanda de transporte. A teoria dos conjuntos nebulosos é utilizada para tratar esta imprecisão. No algoritmo de distribuição nebuloso uma demanda de transporte é representada por um número nebuloso.

O algoritmo nebuloso de distribuição de vagões foi inspirado no trabalho de Chanas e Kuchta (1998) que propuseram um algoritmo para resolver problemas de transporte de maneira geral.

Considere

O : conjunto de nós oferta (\forall origem, tipo, instante);

n_o : número de vagões disponíveis em o , $\forall o \in O$;

D : conjunto de nós demanda (\forall destino, tipo, instante);

n_d : número de vagões necessários para atender a demanda d , $\forall d \in D$.

No modelo descrito em [2], n_d é o número de vagões necessários para atender a demanda d , $\forall d \in D$. No modelo de distribuição nebuloso, n_d é substituído por um número nebuloso \tilde{n}_d para representar a imprecisão quanto ao número de vagões necessário para atender a demanda d . Neste caso, as variáveis de decisão $y_d, \forall d \in D$, (demanda não atendida) não são necessárias, visto que a formulação das demandas como números nebulosos considera o equilíbrio entre demanda e oferta de vagões na própria modelagem.

Neste trabalho, de maneira geral, considera-se que \tilde{n}_d é um número nebuloso triangular, pois não se tem outras informações disponíveis baseadas na percepção da prática operacional, que não a demanda aproximada. Nos experimentos computacionais (Sec. 3.1.) utiliza-se uma função de pertinência trapezoidal para representar a imprecisão inerente às demandas pouco confiáveis.

Sendo assim, pode-se reescrever o modelo de distribuição [2] e obter o modelo de distribuição nebuloso como segue:

$$\begin{aligned} \min \sum_{o \in O} \sum_{d \in D} \zeta_{od} x_{od} \quad (1) \\ \sum_{o \in \hat{O}_d} x_{od} \cong \tilde{n}_d \quad \forall d \in D \\ \sum_{d \in \hat{D}_o} x_{od} + z_o = n_o \quad \forall o \in O \\ x_{od} \geq 0 \quad \forall o \in O \quad \forall d \in D \\ z_o \geq 0 \quad \forall o \in O \end{aligned}$$

onde \tilde{n}_d é um número nebuloso. Este modelo considera os custos de transporte $\zeta_{od}, \forall o \in O, \forall d \in D$ e o número de vagões de oferta $n_o, \forall o \in O$, são números reais.

As variáveis de decisão para o problema nebuloso são:

x_{od} : número de vagões de o para d , $\forall o \in O, \forall d \in D$.

z_o : oferta não alocada, $\forall o \in O$

Este problema é resolvido pelo algoritmo nebuloso de distribuição resumido na Fig. 1. Este algoritmo foi inspirado no trabalho de [1]. A Fig. 1 dá uma visão geral do algoritmo de distribuição, suas interfaces no ambiente ferroviário, as etapas do algoritmo que foram inspiradas no trabalho de [1] e as contribuições deste trabalho.

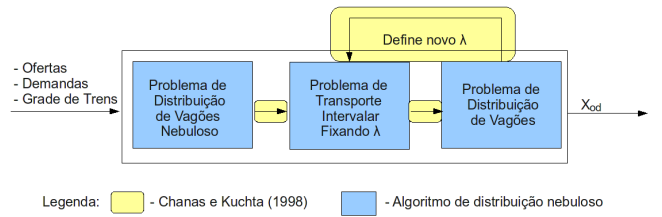


Figura 1. Algoritmo Nebuloso de Distribuição de Vagões

Como mostra a Fig. 1, o algoritmo é dividido em 3 etapas principais:

Problema de distribuição de vagões nebuloso: este problema é similar ao problema de distribuição [2], exceto que, nesta etapa são definidos os números nebulosos que representam a imprecisão na quantidade de vagões para cada demanda de transporte;

Problema de transporte intervalar para λ fixo: neste etapa é fixado um λ entre 0 e 1. O λ define o λ -corte. Para toda demanda, que é representada por um número nebuloso, tem-se um intervalo de números reais resultante do cálculo do λ -corte para um λ fixo. O problema de transporte intervalar é criado a partir do maior e menor número inteiro que estiverem contidos neste intervalo.

Problema de distribuição de vagões: Nesta etapa cria-se um problema de distribuição [2] a partir do problema de transporte intervalar. O problema de distribuição é resolvido e verifica-se se a solução é ótima ou infactível. Se a solução não é ótima nem infactível, o valor de λ é alterado e um novo problema de transporte intervalar é criado. Estas etapas se repetem até que ou a solução ótima, ou uma solução infactível seja encontrada.

A partir da Fig. 1 verifica-se que resolver o algoritmo de distribuição nebuloso consiste em resolver várias instâncias do algoritmo de distribuição [2]. O tempo de processamento do algoritmo de dis-

tribuição nebuloso é equivalente ao tempo de processamento do algoritmo de distribuição multiplicado pelo número de vezes que o λ foi atualizado. O algoritmo de distribuição tem um tempo de processamento muito pequeno, devido a estrutura do modelo de distribuição criado. Apesar do algoritmo de distribuição nebuloso ser mais lento, este algoritmo ainda obtém resultados num tempo de processamento satisfatório devido a rapidez apresentada na resolução do problema de distribuição.

Na próxima seção mostramos os resultados e experimentos realizados para ilustrar a utilização do algoritmo de distribuição de vagões nebuloso em diferentes situações e avaliar a qualidade das soluções obtidas.

3. Resultados

Esta seção apresenta e discute os resultados obtidos pelo algoritmo de distribuição de vagões nebuloso. Os resultados obtidos são comparados algoritmo de distribuição de vagões [2].

As instâncias utilizadas neste experimento foram inspiradas em situações reais que ocorrem em ferrovias. Com o intuito de analisar o algoritmo nebuloso foram feitos 3 experimentos. Os experimentos realizados são descritos nas próximas subseções.

3.1. Experimento 1: Confiabilidade dos clientes

Este experimento foi realizado com o objetivo de ilustrar a aplicação do algoritmo de distribuição nebulosa em situações em que a confiabilidade da demanda de transporte é imprecisa. De fato, na prática existe imprecisão nas demandas de uma ferrovia. Geralmente, existem clientes que fazem o pedido de uma quantidade de vagões superior ao que realmente necessitam. Neste experimento foram considerados que os pedidos são classificados de acordo com o confiabilidade da demanda como pouco confiável ou muito confiável.

Neste experimento foi resolvido o problema mostrado na Fig. 3 (Problema 1). As funções de pertinência para as demandas do problema estão ilustradas na Fig. 2.

Os resultados obtidos pelo algoritmo de distribuição nebuloso são comparados com os resultados do algoritmo de distribuição [2].

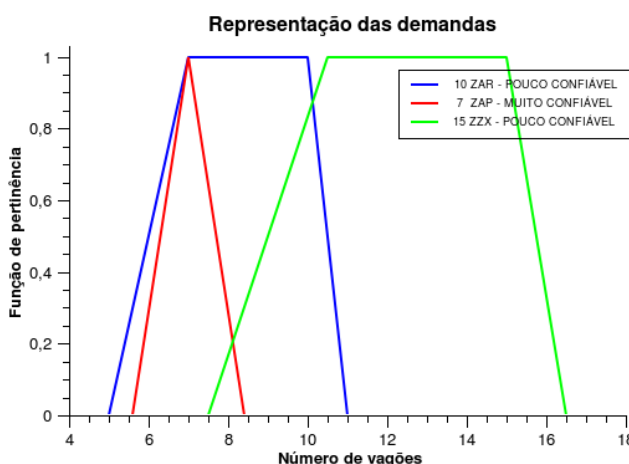


Figura 2. Representação das funções de pertinência das demandas do problema 1

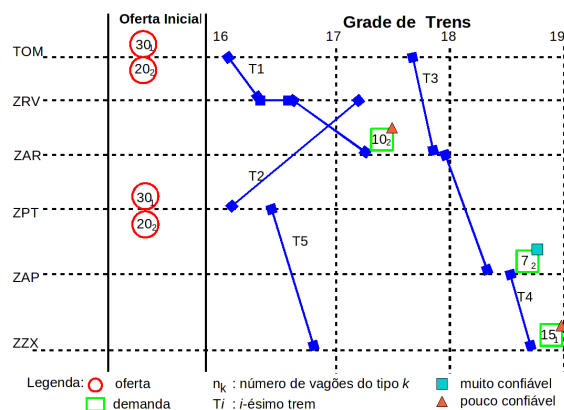


Figura 3. Problema 1

	Distribuição[2]	Nebuloso
Custo	139.21	104.44
Tempo(ms)	4	26
Origem-Destino	Vagões distribuídos	
TOM-ZAR	10	7
TOM-ZAP	7	7
ZPT-ZZX	15	10

Tabela 1. Resultados do algoritmo de distribuição[2] e do algoritmo de distribuição nebuloso para o problema 1

A partir da análise dos resultados da tabela 1 pode-se verificar que o algoritmo de distribuição nebuloso obteve uma solução de menor custo. Este resultado foi possível, pois o algoritmo considera a confiabilidade das demandas.

Assume-se no problema 1 as demandas 10

ZAR e 15 ZZX são pouco confiáveis. Neste caso o algoritmo nebuloso encontrou uma solução de compromisso considerando a confiabilidade destas demandas e o custo de distribuição. O Resultado envia menos vagões, obtendo assim um menor custo de distribuição.

A solução obtida pelo algoritmo nebuloso é mais robusta que a do algoritmo de distribuição[2] considerando que os vagões que deixaram de ser distribuídos não seriam utilizados e iriam gerar um custo maior.

3.2. Experimento 2: Previsibilidade no horizonte de tempo

Neste experimento as demandas tem uma função de pertinência que varia de acordo com seus prazos no horizonte de tempo.

	Distribuição[2]	Nebuloso
Custo	139.21	118.35
Tempo(ms)	4	77
Origem-Destino	Vagões distribuídos	
TOM-ZAR	10	9
TOM-ZAP	7	6
ZPT-ZZX	15	12

Tabela 2. Resultados do algoritmo de distribuição[2] e do algoritmo de distribuição nebuloso para o problema 1

A análise dos resultados da tabela 2 mostra que o algoritmo de distribuição nebuloso obteve uma solução de menor custo. Este resultado foi possível porque o algoritmo considera a imprecisão das demandas no horizonte de tempo.

3.3. Experimento 3: Instância inspirada em uma grade real

Este experimento considera um problema baseado em uma grade de trens real, com 30 trens, 30 tipos de vagões e horizonte de tempo de 1 dia. O mesmo problema foi resolvido para diferentes valores de f (fator de imprecisão), tempo de processamento e custo das soluções obtidas conforme tabela abaixo.

A solução obtida pelo algoritmo de distribuição[2] teve custo 7472.8, ou seja, foi exatamente igual a solução obtida pelo algoritmo nebuloso com fator de imprecisão $f = 0$. A partir do resultado pode-se observar que o algoritmo

f	Custo	Tempo (ms)
0	7472.8	552
0.25	6436.6	542
0.5	3758.2	553
0.75	1369.5	633
1	0	654

Tabela 3. Resultados do algoritmo nebuloso de distribuição para o problema do experimento 3 e diferentes valores de f

de distribuição clássico é um caso particular do algoritmo nebuloso, para isto, é necessário utilizar a função de pertinência genérica com fator $f = 0$. O algoritmo nebuloso resolve o problema também para situações onde existe imprecisão na demanda de transporte, ou seja, é mais abrangente que o algoritmo[2].

4. Conclusão

Neste trabalho foi apresentado um modelo e um algoritmo para distribuição de vagões vazios com imprecisão na demanda. A imprecisão foi modelada utilizando números nebulosos. O algoritmo fornece como resultado a quantidade e tipos de vagões que serão movimentados entre os pares origem-destino da ferrovia, considerando imprecisão nas demandas. Os resultados mostram que o algoritmo proposto obteve soluções estrategicamente mais sofisticadas, com menor custo de transporte e maior robustez que algoritmos clássicos de distribuição.

Referências

- [1] S. Chanas and D. Kuchta. Fuzzy Integer Transportation Problem. *Fuzzy Sets and Systems*, 98:291–298, 1998.
- [2] Joelma Cristina Costa and F. A. C. Gonçalves, Gomide. Algoritmo de Distribuição e Alocação de Vagões em Tempo Real. *IX Simpósio de Automação Inteligente, Brasília, Distrito Federal, Brasil*, Setembro 2009.
- [3] P. Lévine and J.C. Pomerol. Railcar Distribution at the French Railways. *IEEE Expert*, October 1990.