

Um método e um programa para a formação e logística de equipes de trabalho

A method and a program for work teams setup and logistics

José Francisco Ferreira Ribeiro¹ - Univ. de São Paulo - Fac. de Econ., Admin. e Contab. de Ribeirão Preto, Dep. de Adm.
Caio Vinícius de Aquino Siquitelli² - Univ. de São Paulo - Fac. de Econ., Admin. e Contab. de Ribeirão Preto, Dep. de Adm.
Alexandre Bevilacqua Leoneti³ - Univ. de São Paulo - Fac. de Econ., Admin. e Contab. de Ribeirão Preto, Dep. de Adm.
André Lucirton Costa⁴ - Univ. de São Paulo - Fac. de Econ., Admin. e Contab. de Ribeirão Preto, Dep. de Adm.

RESUMO Este artigo apresenta um método para a formação e logística de equipes de trabalho. O método proposto resolve um modelo matemático em variáveis binárias 0/1, desenvolvido com base no modelo de designação generalizada, de forma a minimizar o custo do vale-transporte e constituir equipes com um número predefinido de agentes. O programa correspondente foi escrito em *Excel-Solver* e testado numa empresa prestadora de serviços terceirizados presente em mais de 200 cidades brasileiras.

Palavras-chave Equipes de trabalho. Prestação de serviços. Logística. Otimização. Problema da designação generalizada.

ABSTRACT *This paper presents a method for work team and logistics formation. The proposed method solves a mathematical model in binary variables 0/1 developed based on the generalized assignment model in order to minimize the cost of transportation and form work teams with a pre-established number of agents. The corresponding program was written in-Solver and tested in an outsourced service provider, which operates in more than 200 Brazilian cities.*

Keywords *Work Teams. Service providers. Logistics. Optimization. Generalized assignment problem.*

1. Av. Bandeirantes, 3900, CEP: 14040-905, Ribeirão Preto-SP, jffr@fearp.usp.br
2. cvasiquitelli@fearp.usp.br
3. ableoneti@fearp.usp.br
4. alcosta@usp.br

RIBEIRO, J. F. F.; SIQUITELLI, C. V. A.; LEONETI, A. B.; COSTA, A. L. Um método e um programa para a formação e logística de equipes de trabalho. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 12, nº 1, jan-mar/2017, p. 253-267.

DOI: 10.15675/gepros.v12i1.1624

1. INTRODUÇÃO

Empresas de serviços terceirizados são responsáveis por providenciar equipes de limpeza, manutenção, apoio, serviço de portaria e vigilância para indústrias, bancos, lojas, centros comerciais, escolas e hospitais. A empresa seleciona os agentes, organiza as equipes de trabalho e encaminha os agentes por meio de transporte público ou particular para locais previamente contratados para executar as diferentes tarefas.

O custo do transporte tem sido o critério de tomada de decisão tradicionalmente utilizado para a formação de equipes de trabalho, seja indiretamente por meio da minimização da soma das distâncias ou dos tempos de deslocamento dos agentes aos locais de trabalho, ou diretamente por meio da minimização do custo do transporte dos agentes aos locais de trabalho por meio de veículo próprio da empresa ou por meio de transporte público (vale-transporte). Para tanto, procura-se formar cada uma das equipes com agentes que moram próximos ao local onde o serviço será prestado ou que representem menor custo de deslocamento ao local de trabalho.

A formação das equipes de trabalho, ou seja, a designação dos agentes disponíveis aos locais de trabalho contratados era realizada de forma manual até recentemente, mas as empresas do setor passaram a enfrentar grandes dificuldades para continuar com este procedimento, pois o número de agentes, o número de equipes de trabalho e o número de locais de trabalho aumentaram consideravelmente nos últimos anos.

O problema da designação pertence à classe dos problemas NP-completos (Garey e Johnson, 1977). Tais problemas não dispõem de algoritmos de resolução capazes de encontrar a solução ótima para exemplos de grande porte em tempo computacional aceitável. Estes exemplos podem exigir dias, meses e até anos de tempo de computador para encontrar a solução ótima do problema. Os algoritmos exatos resolvem satisfatoriamente apenas exemplos de pequeno e médio porte. Em decorrência, pode-se encontrar na literatura um grande número de algoritmos capazes de resolver de maneira aproximada os exemplos com grandes instâncias de dados. Por um lado, os algoritmos aproximados ou heurísticos não garantem a obtenção da solução ótima para o problema; por outro, pode-se conseguir rapidamente por meio deles uma solução aproximada para o problema.

Considera-se que o principal custo envolvido no fornecimento de mão de obra terceirizada é o custo do transporte dos agentes aos locais de trabalho previamente contratados pela empresa. O gerenciamento do tempo para a chegada do agente ao local designado é realizado pelo próprio funcionário. Neste sentido, a obtenção de uma solução aproximada para o problema da designação dos agentes aos locais de trabalho por meio de algoritmos heurísticos pode implicar diretamente em custo mais elevado para a empresa. Por esta razão, uma preocupação fundamental no desenvolvimento deste trabalho foi efetuar a resolução do problema da designação por meio de um algoritmo exato, capaz de encontrar a solução ótima. A escolha recaiu sobre o método *branch-and-bound*, disponível no *Microsoft-Excel-Solver* (FrontlineSolvers, 2016) pela reconhecida eficiência do método, e pela popularidade e facilidade de acesso à ferramenta *Solver* do *Microsoft-Excel*.

Neste artigo é proposto um modelo matemático em variáveis binárias 0/1, desenvolvido a partir do modelo de designação generalizada (Arenales et al., 2007), e um programa computacional escrito em *Excel-Solver*, para realizar a seleção de agentes e constituir as equipes de trabalho. O resultado obtido é plotado num mapa, desenvolvido a partir do GoogleMaps, uma ferramenta gratuita para realizar geo-referenciamento. O trabalho tem como objetivo criar uma ferramenta acessível, desenvolvida em *Excel*, um dos *softwares* mais populares e disseminados da história da computação, que auxilie na tomada de decisão relativa à formação de equipes de trabalho, de modo a obter soluções de melhor qualidade, de maneira mais rápida e com menor custo, independente do tipo e do porte da empresa.

O artigo está dividido da seguinte forma: uma breve revisão dos modelos e métodos de resolução propostos na literatura para o problema de designação generalizada é apresentada na Seção 2. A metodologia é fornecida na Seção 3. A Seção 4 apresenta o modelo matemático proposto para resolver o problema. O método proposto foi testado numa empresa prestadora de serviços terceirizados presente em mais de 200 cidades brasileiras. Um teste realizado na cidade de Belo Horizonte-MG, é apresentado na Seção 5. Uma discussão sobre o método proposto e os resultados obtidos é realizada na Seção 6. A conclusão é apresentada na Seção 7.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O modelo da designação generalizada (Arenales et al., 2007) realiza a designação de m agentes a n tarefas, com $m < n$. O custo da designação dos agentes i às tarefas j é dado por c_{ij} e a execução de tarefa j pelo agente i requer uma quantidade a_{ij} do recurso b_i . A quantidade a_{ij} pode ser o tempo necessário para executar o trabalho, e b_i o tempo total disponível do agente i para executar as tarefas a ele confiadas.

Seja x_{ij} a variável binária 0/1: $x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se o agente } i \text{ é designado à tarefa } j \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$

O modelo da designação generalizada pode ser escrito da seguinte forma:

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 & (j = 1, \dots, n) & (2) \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} \leq b_i & (i = 1, \dots, m) & (3) \\ x_{ij} = 0/1 & & (4) \end{cases}$$

Neste modelo, a função-objetivo (1) minimiza o custo total da designação dos agentes às tarefas. A restrição (2) determina que cada agente será designado a uma única tarefa. A restrição (3) estabelece que a capacidade b_i do agente i não será ultrapassada. A restrição (4) estabelece o tipo das variáveis.

Este modelo é complexo, considerado de difícil tratamento e resolução, por não dispor de um algoritmo de resolução eficiente (Garey e Johnson, 1977). A complexidade de um algoritmo avalia o número de instruções executadas por este algoritmo com relação ao comprimento da codificação dos dados utilizados. Ela é descrita pela função O . Um problema pertence à classe P (como polinômio) se existe um algoritmo polinomial ou eficiente para resolvê-lo. Um algoritmo é polinomial se a complexidade O é uma função polinomial do comprimento da codificação dos dados (Exemplos: $O(n)$ ou $O(n^2)$, para um comprimento igual a n). Os algoritmos de complexidades $O(2^n)$ ou $O(n!)$ são considerados ineficientes e chamados de algoritmos exponenciais. Um problema pertence à classe NP (comportamento polinomial não determinado) se não existir um algoritmo de resolução polinomial pra resolvê-lo. Um problema pertence à classe NP -completo se (i) pertencer à classe NP , e se (ii) for possível transformá-lo em tempo polinomial em qualquer outro problema da classe NP . Estes são os problemas mais importantes da classe NP , pois se for encontrado um algoritmo polinomial para um destes problemas, todos os outros problemas desta classe também poderiam ser resolvidos eficientemente pelo mesmo algoritmo. Garey e Johnson (1977) elaboraram uma lista bastante extensa de problemas NP -completos com a demonstração de complexidade caso a caso. Os problemas de otimização em variáveis binárias, como é o caso do problema da designação generalizada, integram esta lista, e por esta razão não é possível encontrar a solução ótima de exemplos de grande porte em tempo de cálculo polinomial ou razoável por meio de algoritmos exatos. Uma vez que estão disponíveis somente os algoritmos exponenciais para resolver de maneira ótima o problema da designação, a proposição de algoritmos aproximados ou heurísticas para resolvê-lo é um recurso frequentemente encontrado na literatura.

Entre os métodos mais usados para a resolução do modelo da designação generalizada, está o método *branch-and-bound*, associado ou não a heurísticas. Ross e Soland (1975) relatam a resolução de problemas com mais de 4.000 variáveis binárias 0/1 com auxílio do *branch-and-bound*, e Klastorin (1979) com mais de 12.000 variáveis 0/1. Woodcock e Wilson (2010) propõem o método *branch-and-bound* associado à busca tabu, e Munapo et al. (2015) combinam o *branch-and-bound* a um procedimento rápido que minimiza o número de subproblemas a resolver. O programa computacional proposto neste artigo para realizar a designação dos agentes aos locais de trabalho foi desenvolvido em *Excel-Solver*. O *Excel Solver* implementa o método *branch-and-bound*, sem associação com heurísticas (FrontlineSolvers, 2016).

Outros métodos frequentemente encontrados na literatura para a resolução do problema da designação são a busca tabu, os algoritmos genéticos e as heurísticas especialmente desenvolvidas para este fim. A metaheurística tabu é utilizada pelos métodos propostos por

Swangnop e Chaovalitwongse (2014) e McKendall et al. (2015). Liu et al. (2012) propõem um algoritmo genético, e Liu e Wang (2015) um algoritmo genético associado à computação paralela. Uma rede neural é a base do método de Nazemi e Ghezelsofla (2016). Posta et al. (2012) combinam relaxação lagrangeana e programação dinâmica. Srivastava e Bullo (2014), Yuan et al. (2014), Topcuoglu et al. (2014) e Sethanan e Pitakaso (2016) descrevem algoritmos aproximados e rápidos.

3. MÉTODO

O trabalho realizado é uma pesquisa aplicada. O objetivo do modelo e do programa computacional apresentados neste artigo é selecionar um número predeterminado de agentes para executar tarefas específicas em locais de trabalho previamente contratados por uma empresa prestadora de serviços terceirizados. O resultado final é plotado num mapa construído com auxílio da ferramenta *GoogleMaps*. O método proposto é quantitativo e o custo do vale-transporte é o critério sobre o qual é tomada a decisão.

Para a realização deste trabalho, a empresa prestadora de serviços terceirizados forneceu os endereços dos agentes e dos locais de trabalho. Os custos do transporte, representados no trabalho pelos custos do vale-transporte entre os endereços dos agentes e dos locais de trabalho, foram obtidos diretamente do *GoogleMaps* e inseridos numa planilha do *Excel*, por meio de uma requisição on-line realizada por uma linha de código no formato de endereço eletrônico: `<https://maps.googleapis.com/maps/api/directions/json?origin=[ENDEREÇO_ORIGEM]&destination=[ENDEREÇO_DESTINO]&mode=[MODO_TRANSPORTE]&key=[CHAVE_DESENVOLVEDOR]>`.

Nesta linha de código, ENDEREÇO_ORIGEM é o endereço do agente a ser designado, ENDEREÇO_DESTINO é o endereço do local de trabalho, MODO_TRANSPORTE é o tipo de transporte que será utilizado: (i) transporte público, (ii) automóvel particular ou (iii) pedestre. Os resultados são obtidos por meio da captura do texto que retorna do provedor após o processamento da requisição.

A designação dos agentes aos locais de trabalho é realizada por meio da resolução do modelo matemático proposto na Seção 4 pelo *Microsoft-Excel-Solver* para problemas com até 200 variáveis de decisão. Os problemas com mais de 200 variáveis de decisão podem ser resolvidos de maneira ótima pelo *OpenSolver for Excel* (Mason, 2011), uma versão gratuita do Solver disponibilizada na internet (<http://opensolver.org/>) para resolução de problemas de grande porte. No teste apresentado na Seção 5 é resolvido um problema real para a cidade de Belo Horizonte, onde a empresa dispõe de 312 agentes de limpeza, que trabalham em quatro setores distintos: (I) concessionárias de veículos, (ii) hospitais, (iii) supermercados e (iv) lojas, que, no total, somam 34 contratos de fornecimento de mão de obra. Belo Horizonte tem cinco valores diferentes de tarifas para o vale-transporte.

O *Microsoft-Excel-Solver* foi escolhido para desenvolver o programa computacional pelas seguintes razões: (i) o *Microsoft-Excel-Solver* está disponível na maior parte dos micro-computadores, o que facilita seu acesso e gera uma economia de gastos com *software*; (ii) os problemas reais a serem resolvidos têm porte pequeno e médio, dentro do limite de variáveis de decisão do *Microsoft-Excel-Solver*, que é igual a 200; (iii) o Solver do *Excel* tem programado o método *branch-and-bound* para resolução de problemas inteiros e não lineares, capaz de resolver de maneira ótima os problemas propostos; (iv) por ser uma interface bem difundida, o treinamento dos operadores pode ser facilitado; (v) os resultados gerados são apresentados de forma intuitiva, tornando a tomada de decisão mais simples e satisfatória.

3.1. Modelo matemático

No modelo da designação generalizada proposto neste artigo tem-se m agentes para executar o trabalho em n locais de trabalho, com $m > n$. Os agentes i só podem ser designados a um único local de trabalho j e cada local de trabalho requer um número de agentes igual a b_j . O custo da designação é dado pelo custo do vale-transporte c_{ij} dos agentes i aos locais de trabalho j . No modelo clássico de designação generalizada (Arenales et al., 2007), tem-se $m < n$, e a execução de tarefa j pelo agente i requer uma quantidade a_{ij} do recurso b_i .

Seja x_{ij} a variável binária 0/1: $x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se o agente } i \text{ é designado à tarefa } j \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$

O modelo clássico de designação generalizada pode, então, ser reescrito da seguinte forma:

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (5)$$

Sujeito a:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1 & (j = 1, \dots, n) & (6) \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} = b_j & (i = 1, \dots, m) & (7) \\ x_{ij} = 0/1 & & (8) \end{cases}$$

Neste modelo, a função-objetivo (5) minimiza o custo total do vale-transporte dos agentes aos locais de trabalho. A restrição (6) determina que cada agente será designado a um único local de trabalho, mas que nem todos os agentes serão designados a locais de trabalho. A restrição (7) dá o número de agentes em cada local. A restrição (8) estabelece o tipo das variáveis.

4. RESULTADOS

Testes computacionais foram realizados para a formação de equipes de trabalho numa empresa de serviços terceirizados que opera em mais de 200 cidades brasileiras, incluindo quatro grandes centros urbanos: São Paulo (11,9 milhões de habitantes), Belo Horizonte (2,502 milhões de habitantes), Campinas (1,080 milhões de habitantes) e Ribeirão Preto (666 mil habitantes). Neste artigo, apresentamos o teste realizado para a seleção de agentes e formação de equipes de trabalho de um contrato de prestação de serviços do setor de concessionárias de automóveis na cidade de Belo Horizonte, MG.

Em Belo Horizonte, MG, a empresa conta com 312 agentes de limpeza, que podem trabalhar em quatro diferentes setores: (i) concessionárias de veículos, (ii) hospitais, (iii) supermercados e (iv) lojas, o que totaliza 34 contratos. A empresa quer encontrar a solução ótima para o problema de designação dos agentes aos locais de trabalho, sem que seja realizado remanejamento dos funcionários entre os diferentes setores. Foi preestabelecido que os agentes que trabalham em cada um destes quatro setores devem ser mantidos nos setores atuais. Esta exigência impede a obtenção do ótimo global para o problema; mas, por outro lado, leva à resolução de quatro subproblemas de dimensão reduzida, o que permite encontrar a solução ótima de todos os subproblemas pelo *Microsoft-Excel-Solver*, sem necessidade de utilizar o *OpenSolver for Excel*.

Os custos do vale-transporte (em reais R\$) entre os endereços dos agentes e dos locais de trabalho constituem o critério sobre o qual é tomada a decisão. A Tabela 1 apresenta os valores do vale-transporte entre os 26 agentes (Agente 1, Agente 2, ..., Agente 26) e as seis concessionárias de automóveis (Local 1, Local 2, ..., Local 6). Estes valores foram obtidos diretamente do Google Maps, e inseridos numa planilha do *Excel*, por meio da combinação das cinco diferentes tarifas existentes no transporte público urbano de Belo Horizonte, MG. A interface do *GoogleMaps* permite obter a tarifa, bem como o tempo de deslocamento entre quaisquer pontos de origem e destino.

O objetivo é a formação de seis equipes com 3, 5, 2, 5, 7 e 4 agentes, respectivamente. No teste realizado, todos os agentes serão designados a algum local de trabalho; nenhum agente ficará sem designação. O modelo matemático para resolver o problema tem $26 \times 6 = 156$ variáveis binárias 0/1.

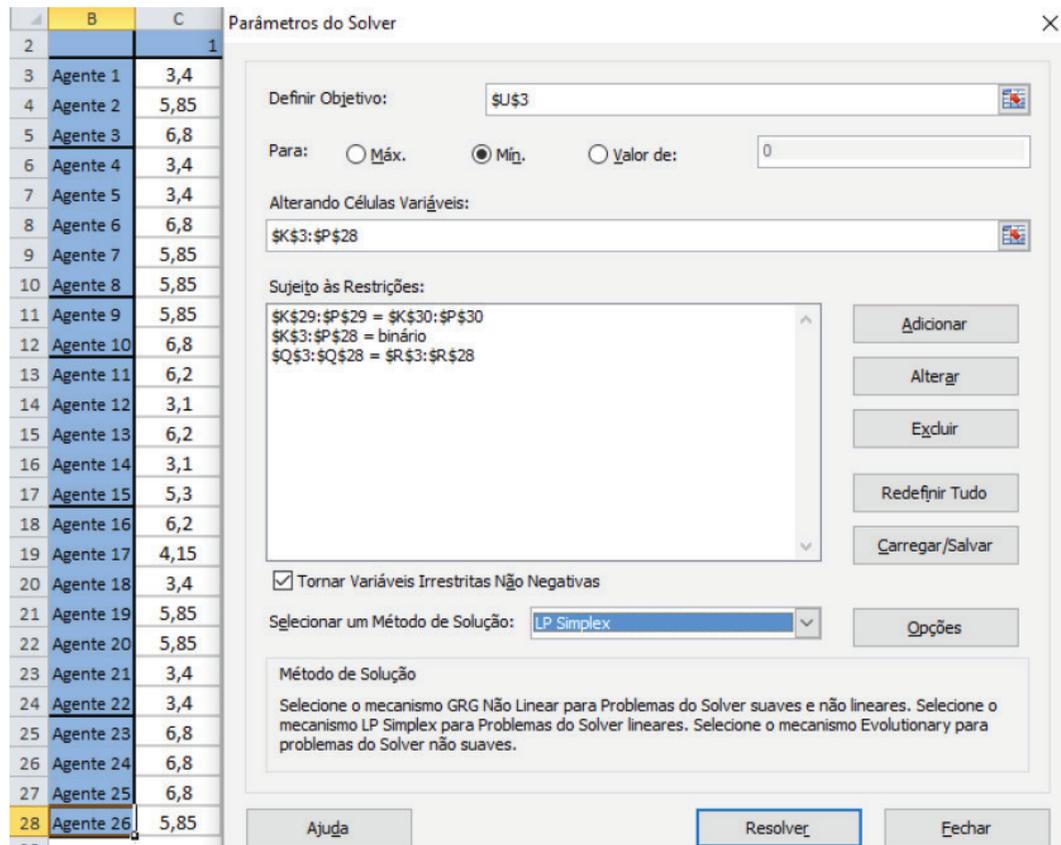
Tabela 1 – Tarifas do vale-transporte (em reais R\$).

	Local 1	Local 2	Local 3	Local 4	Local 5	Local 6
Agente 1	3,4	5,85	6,8	3,4	5,85	5,85
Agente 2	5,85	5,85	9,25	7,65	5,85	5,85
Agente 3	6,8	3,4	6,8	6,8	5,85	3,4
Agente 4	3,4	2,2	3,4	1,8	1,8	1,8
Agente 5	3,4	3,1	3,4	3,4	3,4	3,4
Agente 6	6,8	6,2	9,25	8,6	8,7	6,8
Agente 7	5,85	5,3	5,85	4,25	4,25	4,25
Agente 8	5,85	5,3	9,25	3,4	6,8	5,8
Agente 9	5,85	7,65	6,8	3,4	4,25	3,4
Agente 10	6,8	7,65	3,4	4,25	1,8	3,4
Agente 11	6,2	3,4	6,8	3,4	3,4	3,4
Agente 12	3,1	7,65	3,4	4,25	4,25	3,4
Agente 13	6,2	3,4	6,8	5,85	3,4	3,4
Agente 14	3,1	3,4	6,8	3,4	1,8	1,8
Agente 15	5,3	5,85	9,25	5,85	4,25	5,85
Agente 16	6,2	3,1	4,9	1,8	1,8	3,4
Agente 17	4,15	3,4	6,8	2,45	3,4	3,4
Agente 18	3,4	3,4	5,85	2,45	0	2,45
Agente 19	5,85	5,85	5,85	4,25	4,25	4,25
Agente 20	5,85	5,85	3,4	3,4	4,25	3,4
Agente 21	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Agente 22	3,4	3,4	6,8	3,4	5,85	5,85
Agente 23	6,8	6,8	3,4	3,4	3,4	3,4
Agente 24	6,8	6,8	6,8	3,4	3,4	5,85
Agente 25	6,8	6,8	6,8	3,4	3,4	3,4
Agente 26	5,85	5,58	9,25	3,4	5,85	5,85

Fonte: Elaboração dos autores.

A Figura 1 apresenta o programa computacional desenvolvido no *Microsoft-Excel-Solver* para resolver o modelo matemático proposto. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2. A Tabela 3 fornece a redução de custo entre solução atual utilizada pela empresa e solução obtida com auxílio do *Solver*. A redução global do tempo de deslocamento está disponível na Tabela 4. A duração, em minutos, do tempo de deslocamento dos agentes aos locais de trabalho também foi obtida por meio do Google Maps.

Figura 1 – Programa do *Microsoft-Excel-Solver*.



Fonte: Elaboração dos autores.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos por meio do modelo matemático proposto e do programa computacional correspondente escrito em *Microsoft-Excel-Solver*. Os agentes 1, 12 e 22 serão destinados ao local de trabalho 1, os agentes 2, 3, 5, 6 e 11 ao local de trabalho 2, os agentes 20 e 21 ao local de trabalho 3, os agentes 8, 9, 17, 19 e 26 ao local de trabalho 4, os agentes 10, 13, 14, 15, 16, 18 e 24 ao local de trabalho com o maior número de agentes, que é o local 5, e por fim, os agentes 4, 7, 23 e 25 serão destinados ao local de trabalho 6.

Tabela 2 – Resultados.

	Local 1	Local 2	Local 3	Local 4	Local 5	Local 6
Agente 1	1	0	0	0	0	0
Agente 2	0	1	0	0	0	0
Agente 3	0	1	0	0	0	0
Agente 4	0	0	0	0	0	1
Agente 5	0	1	0	0	0	0
Agente 6	0	1	0	0	0	0
Agente 7	0	0	0	0	0	1
Agente 8	0	0	0	1	0	0
Agente 9	0	0	0	1	0	0
Agente 10	0	0	0	0	1	0
Agente 11	0	1	0	0	0	0
Agente 12	1	0	0	0	0	0
Agente 13	0	0	0	0	1	0
Agente 14	0	0	0	0	1	0
Agente 15	0	0	0	0	1	0
Agente 16	0	0	0	0	1	0
Agente 17	0	0	0	1	0	0
Agente 18	0	0	0	0	1	0
Agente 19	0	0	0	1	0	0
Agente 20	0	0	1	0	0	0
Agente 21	0	0	1	0	0	0
Agente 22	1	0	0	0	0	0
Agente 23	0	0	0	0	0	1
Agente 24	0	0	0	0	1	0
Agente 25	0	0	0	0	0	1
Agente 26	0	0	0	1	0	0
Número de Agentes	3	5	2	5	7	4

Fonte: Elaboração dos autores.

A adoção da solução obtida pelo programa computacional neste teste de Belo Horizonte levou a empresa a uma redução significativa do custo de transporte. O valor do custo mensal passou de R\$ 4952,20 para R\$ 3733,40. Essa solução gerou uma economia de aproximadamente 25% para a empresa, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Redução de custo (reais).

Custo	Solução Solver	Solução atual
Unitário	R\$ 84,85	R\$ 112,55
Diário	R\$ 169,70	R\$ 225,10
Mensal	R\$ 3.733,40	R\$ 4.952,20
Economia	R\$ 1.218,80	24,6%

Fonte: Elaboração dos autores.

A Tabela 4 mostra outro aspecto importante da solução obtida pelo programa computacional. Ao mesmo tempo em que se conseguiu obter uma redução do custo de transporte da ordem de 25%, os funcionários não ficarão mais tempo em trânsito entre suas residências e seus locais de trabalho, uma vez que: (i) a verificação feita individualmente para cada um dos funcionários mostrou que para nenhum deles houve aumento do tempo de trânsito; (ii) houve uma pequena redução do tempo global de trânsito dos funcionários aos locais de trabalho (redução de 0,2%).

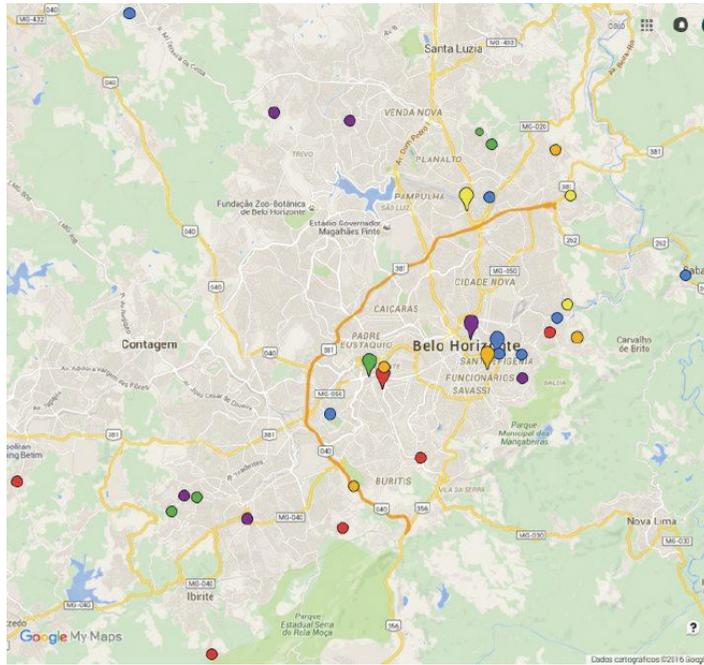
Tabela 4 – Redução de tempo (minutos).

Tempo	Solução Solver	Solução atual
Unitário	2109	2113
Diário	4218	4226
Mensal	92796	92972
Economia	176	0,2%

Fonte: Elaboração dos autores.

A solução obtida foi plotada sobre o Google Maps, e pode ser vista na Figura 2, com a seguinte legenda: os locais de trabalho estão marcados com a gota em seis cores: verde, amarelo, vermelho, azul, laranja e roxo. Os agentes estão representados por círculos das cores correspondentes aos locais de designação.

Figura 2 – Resultado plotado no Google Maps.



Fonte: Google Maps.

Em resumo, a solução obtida neste teste de Belo Horizonte pelo programa computacional levou a uma redução significativa do custo de transporte, em torno de 25%, sem prejuízo da qualidade de vida dos funcionários, uma vez que não houve aumento do tempo de trânsito dos funcionários aos locais de trabalho.

5. DISCUSSÃO

O método de resolução proposto permite encontrar a solução ótima para o problema da designação por meio do método *branch-and-bound* disponibilizado no *Excel-Solver*. A obtenção da solução ótima do problema, apesar do caráter não polinomial do problema estudado, é de fundamental importância, uma vez que a obtenção de uma solução aproximada por meio de heurísticas não asseguraria a redução de custo buscada na realização deste trabalho.

A resolução do problema é decomposta por setores de atividades, o que leva à redução do problema global de otimização em subproblemas de dimensão reduzida. A solução global para o problema, envolvendo todos os agentes disponíveis e todos os locais de trabalho, foi descartada por misturar os agentes que trabalham em setores distintos, como hospitais, bancos, shopping centers, lojas e escolas. Considera-se que os agentes têm habilidades, competências, expectativas e possibilidades de realização no trabalho diferentes, e não podem ser simplesmente trocados um pelo outro. Pode-se também decidir pela designação obrigatória de alguns de seus agentes a locais de trabalho predeterminados. Neste caso, tais agentes não são considerados na resolução do problema da designação.

No método proposto, os problemas de pequeno e médio porte são resolvidos com auxílio do *Microsoft-Excel-Solver*. Os problemas com mais de 200 variáveis de decisão são resolvidos pelo *OpenSolver for Excel* (Mason, 2011). Pode-se igualmente utilizar outro *software* específico de otimização, como o CPLEX (da Microsoft) ou LINGO (da Lindo Systems) para obtenção da solução ótima.

Houve uma diminuição significativa no custo do vale-transporte, sem, no entanto, aumentar o tempo de transporte. Uma vez designado a algum local de trabalho, o agente passa a ser o responsável por gerenciar qual seria a melhor forma de chegar ao local de trabalho. Na maioria das vezes, este gerenciamento é uma variável externa ao processo de decisão destas prestadoras de serviço. A empresa paga ao agente somente o valor de vale-transporte obtido pelo programa computacional.

6. CONCLUSÃO

Neste artigo é apresentado um modelo matemático em variáveis binárias 0/1 e um programa computacional para a formação, logística e fornecimento de mão de obra. O modelo proposto foi testado sobre um problema real de formação de equipes de trabalho numa empresa prestadora de serviços terceirizados de limpeza, manutenção, apoio, portaria e vigilância. A empresa, presente em mais de 200 cidades brasileiras, fornece equipes de trabalho para executar serviços em indústrias, escolas, hospitais, lojas, centros comerciais e bancos. No teste apresentado, foi realizada a designação de 26 agentes de limpeza a seis concessionárias de automóveis. O resultado obtido reduziu o custo do transporte em torno de 25%, o tempo global de deslocamento dos agentes aos locais de trabalho em 0,2%, e foi plotado num mapa com auxílio da ferramenta *GoogleMaps* para visualização e apoio ao processo de decisão.

As principais contribuições deste trabalho para a academia são: (i) proposição de um modelo matemático original para a resolução do problema, desenvolvido a partir do modelo clássico da designação generalizada; (ii) decomposição da resolução do problema por setores de atividades, o que evita a indesejada troca de agentes entre as diferentes áreas de atuação da empresa, e permite obter a solução ótima dos subproblemas de dimensão reduzida em tempo de cálculo razoável. O programa computacional foi escrito em *Excel*, usando a ferramenta *Solver*.

Todos os testes realizados forneceram resultados em tempo de cálculo sempre inferior a 1 minuto. A ferramenta *Solver* do *Excel* foi escolhida para o desenvolvimento do trabalho por duas razões fundamentais: (i) por ser capaz de obter a solução ótima do problema (método *branch-and-bound*) e, assim, assegurar a obtenção da solução de custo mínimo para o deslocamento dos agentes aos locais de trabalho; (ii) com o objetivo de conferir simplicidade ao programa, maior acessibilidade e popularidade junto aos usuários, técnicos e tomadores de decisão.

O trabalho terá continuidade com a proposição de um novo modelo matemático para o problema da designação de agentes a locais de trabalho, que leve em consideração o custo de transporte, bem como as aptidões, habilidades, conhecimentos e expectativas de cada agente. O objetivo é construir uma ampla plataforma para utilização on-line, que sirva de ponto de encontro para oferta e demanda de mão de obra, a ser utilizada por particulares e por empresas, à procura de competências e habilidades específicas.

REFERÊNCIAS

- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**, Elsevier, 2007.
- FRONTLINE SOLVERS, 2016. Disponível em: <<http://www.solver.com/excel-solver-integer-programming>>. Acesso em: 05 nov. 2015.
- GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S. **Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness**, Freeman, 1977.
- KLASTORIN, T. D. An effective subgradient algorithm for the generalized assignment problem. **Computers & Operations Research**, v. 6, n. 3, p. 155-164, 1979.
- LIU, L.; MU, H.; SONG, Y.; LUO, H.; LI, X.; WU, F. The equilibrium generalized assignment problem and genetic algorithm. **Applied Mathematics and Computation**, v. 218, n. 11, p. 6526-6535, 2012.
- LIU, Y. Y.; WANG, S. A scalable parallel genetic algorithm for the Generalized Assignment Problem. **Parallel Computing**, v. 46, p. 98-119, 2015.
- MASON, A. J. Open Solver – An open source add-in to solve linear and integer programmes in Excel. **Operations Research Proceedings**, 2011, p. 401-406, 2012.
- McKendall, A.; Iskander, W.; McKendall, S.; Chester, A. An application of a generalised assignment problem: assigning recruiters to geographical locations. **Operational Research**, v. 22, n. 1, p. 31-47, 2015.
- MUNAPO, E.; LESAOANA, M.; Nyamugure, P.; KUMAR, S. A transportation branch and bound algorithm for solving the generalized assignment problem. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, v. 6, n. 3, p. 217-223, 2015.

NAZEMI, A.; GHEZELSOFLA, O. A dual neural network scheme for solving the assignment problem. **The Computer Journal Oxford**. Online; p. bxw003, 2016.

POSTA, M.; FERLAND, J. A.; MICHELON, P. An exact method with variable fixing for solving the generalized assignment problem. **Computational Optimization and Applications**, v. 52, n. 3, p. 629-644, 2012.

ROSS, G. T.; SOLAND, R. M. A branch and bound algorithm for the generalized assignment problem. **Mathematical Programming**, v. 8, n. 1, p. 91-103, 1975.

SETHANAN, K.; PITAKASO, R. Improved differential evolution algorithms for solving generalized assignment problem. **Expert Systems with Applications**, v. 45, n. 1, p. 450-459, 2016.

SRIVASTAVA, V.; BULLO, F. Knapsack problems with sigmoid utilities: approximation algorithms via hybrid optimization. **European Journal of Operational Research**, v. 236, n. 2, p. 488-498, 2014.

SWANGNOP, S.; CHAOVALITWONGSE, P. A two-step tabu search heuristic for multi-period multi-site assignment problem with joint requirement of multiple resource types. **Engineering Journal**, v. 18, n. 3, p. 83-97, 2014.

TOPCUOGLU, H. R.; UCAR, A.; ALTIN, L. A hyper-heuristic based framework for dynamic optimization problems. **Applied Soft Computing**, v. 19, p. 236-251, 2014.

WOODCOCK, A. J.; WILSON, J. M. A hybrid tabu search/branch and bound approach to solving the generalized assignment problem. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 2, p. 566-578, 2010.

YUAN, M.; JIANG C.; LI, S.; SHEN, W.; PAVLIDIS, Y.; LI, J. Message passing algorithm for the generalized assignment problem. **Lecture Notes in Computer Science**, v. 8707, p. 423-434, 2014.

