

UTILIZAÇÃO DO ALGORITMO DE MUNKRES PARA SIMULAÇÃO DE DESIGNAÇÃO OTIMIZADO PARA DESPACHO DE SERVIÇOS A EQUIPES DE ATENDIMENTO DE UMA EMPRESA DE ENERGIA ELÉTRICA

Tatianne Andreia Verboski

Faculdade Estadual de Filosofia, Ciências e Letras
Praça Coronel Amazonas, Centro, CEP: 84600-000, União da Vitória - PR
tatianneav@yahoo.com.br

Volmir Eugênio Wilhelm

Universidade Federal do Paraná
Centro Politécnico, Jardim das Américas, CEP: 81531-980, Curitiba- PR
volmirw@gmail.com

Resumo

Este trabalho apresenta o algoritmo de Munkres como um algoritmo de otimização para o processo de despacho de equipes de atendimento, sejam elas comerciais ou emergenciais, aos clientes de uma rede de distribuição de energia elétrica, de uma forma otimizada. O objetivo é designar as equipes de atendimento de acordo com a demanda de serviços, levando em consideração os seguintes critérios: distância da equipe até o serviço solicitado, número de clientes afetados e o desvio da meta (tempo restante para atender o serviço). Os resultados obtidos, via simulações do algoritmo em ambiente computacional do *software Matlab*, mostraram benefícios aos clientes, que passam a ter suas solicitações de serviços atendidas dentro da meta, bem como, benefícios a empresa de distribuição de energia elétrica, pois consegue reduzir o deslocamento de suas equipes de atendimento.

Palavras-chave: Algoritmo de Munkres; Designação; Simulação.

Abstract

This paper presents the algorithm of Munkres as an optimization algorithm for the dispatch process for medical staff, be they commercial or of emergency, customers of a distribution network of electric power in an optimized way. The aim is to assign care teams according to the demand for services, taking into consideration the following criteria: distance from the team until the requested service, number of customers affected and the deviation of the target (time remaining to meet the service). The results obtained via simulations of the algorithm in the Matlab computing environment, have shown benefits to customers, who come to have their service requests answered within target, as well as the company benefits of distribution of electricity, because it can reduce the displacement of their care teams.

Keywords: Munkres Algorithm; Heading; Simulation.

1. INTRODUÇÃO

Alexandre (2010) destaca que a atual realidade do mercado exige das empresas redução contínua de custos e maximização da produção. Empresas que possuem grande número de recursos priorizam utilizá-los de maneira ótima, permitindo a redução do tempo ocioso de seus funcionários. Sendo assim, conseguem garantir sua sobrevivência no mercado.

Em relação ao setor de energia elétrica, o empenho em atender satisfatoriamente os clientes, dados os recursos disponíveis, é uma preocupação constante. De acordo com a ANEEL (2010), a empresa distribuidora de energia elétrica deve dispor de uma estrutura de atendimento adequada às necessidades de seu mercado, sendo acessível a todos os clientes de sua área de concessão ou permissão.

Com o surgimento de novos consumidores, conseqüentemente, há aumento na quantidade de energia elétrica consumida. Mesmo com o crescimento da demanda, a empresa distribuidora de energia elétrica deve manter o nível de qualidade ideal de atendimento aos seus consumidores, conforme exige a ANEEL, que impõem prazos para o atendimento das diversas solicitações dos consumidores de energia elétrica.

Aumentando o número de consumidores, Steiner *et al.* (2006), destacam que há aumento no número das solicitações de serviços feitas pelos clientes da empresa, sejam solicitações de serviços comerciais ou emergenciais. As solicitações comerciais abrangem, por exemplo, serviços de ligação ou religação de unidades consumidoras, corte de energia elétrica a consumidores inadimplentes, substituição de medidores, entre outros. As solicitações emergenciais se caracterizam como corte ou falta de energia elétrica indevidamente.

Além do dimensionamento das equipes de atendimento, faz-se necessário designá-las aos locais das solicitações de tal forma que o tempo de deslocamento das equipes disponíveis (devidamente equipadas) e os referidos locais, seja o menor possível. Deve-se também, garantir que os serviços emergenciais solicitados sejam executados de imediato e, os comerciais, de acordo com as metas estipuladas.

De acordo com Costa (2005), ao cliente solicitar um serviço a distribuidora de energia elétrica, um documento é gerado em um *software* gerenciador de solicitações, chamado de Gestão de Consumidores (GCO). Esse documento registra o tipo de serviço que foi solicitado e os dados de identificação desse cliente. Com o documento gerado, o mesmo é enviado automaticamente para o despachante, com auxílio de outro *software* chamado Sistema de Operações da Distribuição (SOD), onde o despacho do serviço é indicado ao setor responsável. Dessa forma, o despachante fica responsável por identificar em qual rota o cliente está, a qual setor de atendimento essa rota pertence e qual equipe de eletricitas atende a esse setor, para então enviar a solicitação do serviço ao eletricitista.

Quando o serviço solicitado pelo cliente é executado, o documento que foi gerado para registrar a solicitação deve ser concluído. Tal conclusão é realizada pelo eletricitista responsável pelo serviço seja através de um telefone celular ou via computador interligado à rede de computadores da empresa. Trabalho esse complexo para os operadores das concessionárias, pois o número de equipes disponíveis mudará de acordo com a solicitação, dependendo, por exemplo, da hora e do dia da semana.

Assim, o objetivo do algoritmo proposto neste trabalho, é otimizar o despacho das equipes de atendimento de uma empresa de distribuição de energia elétrica. Levando em consideração a distância da equipe até o serviço solicitado, o número de clientes afetados e o desvio da meta (tempo restante para atender o serviço). Oportunizando benefícios aos clientes, que passam a ter suas solicitações de serviços atendidas dentro da meta, bem como, benefícios a empresa, pois consegue reduzir o deslocamento de suas equipes de atendimento.

2. TRABALHOS CORRELATOS

Alguns trabalhos foram fundamentais para este trabalho, dentre os quais se destacam: Steiner *et al.* (2000), que aborda o problema de roteamento de veículos no transporte escolar.

O problema considera além das distâncias a serem percorridas por m veículos, a disponibilidade e capacidade desse veículo, e ainda, as demandas em cada um dos n pontos de coleta e/ou entrega dos alunos nas residências.

Em Magro (2003), é descrita uma alternativa de dimensionamento de equipes de uma empresa de energia elétrica através de coleta de dados, previsão de demanda, simulação do processo e alocação do recurso. A autora levou em consideração oitenta tipos diferenciados de atividades desenvolvidas pelos eletricitistas. Classificou tais atividades de acordo com a prioridade de urgência, prazos de atendimento e semelhança de execução entre tarefas. Coletou ainda, dados referentes ao volume de serviços gerados e tempos médios de deslocamento e execução das atividades. Estudou vários cenários, variando o número de equipes e seus respectivos tempos médios de atendimento.

Torres *et al.* (2003) desenvolveu um projeto com metodologia de análise automática e um pacote computacional com objetivo de estabelecer um conjunto de rotinas inteligentes de busca para determinar a melhor viatura e o melhor caminho para tal viatura chegar a um determinado ponto de defeito na rede de distribuição de energia elétrica. Levando em consideração vias disponíveis na cidade, tráfego, horários de pico, entre outros.

No trabalho de Volpi *et al.* (2010), foi desenvolvido um sistema de apoio a tomada de decisão para os operadores de Centros de Operações de Distribuição de Energia Elétrica, referente ao despacho de serviços comerciais e emergenciais as equipes de atendimento disponíveis. Objetivando, otimizar o uso das equipes, distribuindo-as nas regiões atendidas pela concessionária, de acordo com a demanda de serviços entre outros fatores relevantes.

Os objetivos dos trabalhos anteriormente citados são análogos a este trabalho. Ou seja, há interesse em definir as equipes de atendimento de maneira adequada, propendendo melhorias no atendimento aos clientes e minimização de custos.

3. METODOLOGIA

O problema de designação é definido por Passos (2008) como um problema particular dos problemas de transporte. Sendo trabalhado com as mesmas matrizes utilizadas no problema de transportes e, resolvido através de eliminações sucessivas de linhas e colunas.

O algoritmo de designação utilizado neste trabalho, para o despacho das equipes de atendimento, foi baseado no Método de Munkres, que trabalha com matrizes retangulares. Tal procedimento possibilita menos espaço de memória do que a necessária no Método Húngaro, onde linhas ou colunas de zeros são acrescentadas a fim de se obter uma matriz quadrada.

Para Bourgeois e Lasalle (1971), o algoritmo pode ser resumido nas seguintes etapas: Preliminares: Seja M ($m \times n$) a matriz de custos e $k = \min\{m, n\}$. Se o número de linhas é maior que o número de colunas, utilizar a matriz transposta de M .

- Passo 1: Subtrair de cada entrada o menor elemento de cada linha;
- Passo 2: Fazer uma designação marcando os zeros designados com *;
- Passo 3: Cubra cada coluna contendo um 0*: Se k colunas são cobertas, os 0* formam o conjunto desejado. Fim; Se não, ir ao passo 4.
- Passo 4: escolher um zero não coberto e identificá-lo por 0' e considerar a linha a que ele pertence: Se não houver zero descoberto, ir para o passo 6; Se não existe nenhum 0* (chamá-lo de Z) na linha considerada e ir para o passo 5; Se existir um 0* nessa linha, cobrir essa linha e descobrir a coluna de 0*; Repetir esse procedimento até que todos os zeros estejam cobertos; Registrar o menor valor descoberto (h). Ir para o passo 6.
- Passo 5: Construir uma sequência de 0* e 0' alternadamente como se segue: Seja $Z_0 = 0'$ descoberto (do passo 4); Verificar se na coluna de Z_0 existe 0*, se sim, seja $Z_1 = 0*$ na coluna Z_0 ; Na linha de Z_1 , chamar o 0' de Z_2 (sempre haverá um 0' na linha de Z_1); Então seja $Z_2 = 0'$ da linha Z_1 , e assim sucessivamente, até que a sequência pare em 0' que não tem 0* em sua coluna. Nos elementos da série assim formada; Desmarcar o "*" de cada 0* da sequência (voltam a ser 0 normal); Transformar cada 0' em 0*; Descobrir todas as linhas e

colunas da matriz; Se houver 0' fora da série desmarcá-lo (volta a ser 0 normal); Retornar ao passo 3.

- Passo 6: Seja h o menor elemento não coberto da matriz: Adicionar h em cada linha coberta; Subtrair h de cada coluna não coberta; Retornar ao passo 4 sem fazer qualquer outra alteração, isto é, sem alterar qualquer “*”, “” ou linhas cobertas.

Para este trabalho, o algoritmo se resume em: todos os serviços a serem executados fazem parte de uma lista, bem como, as equipes disponíveis; uma matriz custo é gerada, a partir do conhecimento dessas listagens, como forma de designar os serviços; essa matriz custo é atualizada constantemente, levando em consideração os serviços que forem sendo registrados.

Porém, o número de equipes disponíveis no momento de realizar a designação, geralmente é, significativamente, inferior ao número de serviços que estão pendentes. As equipes disponíveis são caracterizadas como equipes ocupadas ou desocupadas no momento de realizar a designação.

Na lista dos serviços a serem realizados, os seguintes dados devem ser armazenados: instante do registro da solicitação, tipo de serviço (comercial, residencial ou emergencial), meta para execução do serviço, número de clientes afetados pela indisponibilidade do serviço e as coordenadas geográficas do serviço.

4. DESIGNAÇÃO DOS SERVIÇOS ÀS EQUIPES

A matriz de designação é uma matriz organizada na forma: Equipes Disponíveis (m) por Serviços Registrados (n), conforme ilustra a tabela 1, onde $m < n$. O custo da designação da equipe i para o serviço j é representado por f_{ij} .

TABELA 1 - Matriz dos Custos de Designação

Despacho	Serviço 1	Serviço 2	Serviço 3	...	Serviço n
Equipe 1	f_{11}	f_{12}	f_{13}		f_{1n}
Equipe 2	f_{21}	f_{22}	f_{23}		f_{2n}
Equipe 3	f_{31}	f_{32}	f_{33}		f_{3n}
...
Equipe m	f_{m1}	f_{m2}	f_{m3}		f_{mn}

FONTE – VOLPI *et al.* (2010)

A função custo f , referente à tomada de decisão, está sujeita aos seguintes fatores: número de consumidores afetados; tempo que a equipe levará para se deslocar da sua posição até o local do serviço e tempo disponível para realizar o serviço sem ultrapassar a meta.

Neste trabalho, para realizar a designação, foram levados em consideração os seguintes fatores: distância (em minutos, ou seja, tempo necessário para a equipe percorrer a distância entre a sua atual localização e o serviço a ser atendido); número de consumidores afetados e o tempo restante para não ultrapassar a meta. Assim, a função custo, de acordo com Volpi *et al.* (2010), pode ser definida pelas fórmulas:

$$f(d, n, m) = w_d \cdot f_1 + w_n \cdot f_2 + w_m \cdot f_3$$

$$f(d, n, m) = w_d(1 - e^{-d \cdot k_d}) + w_n(e^{-(n-1)k_n}) + w_m \left(\frac{1}{1 + e^{-m \cdot k_m}} \right)$$

onde:

w_d → peso associado a função distância (tempo) f_1 ;

w_n → peso associado a função número de clientes não atendidos f_2 ;

w_m → peso associado a função folga da meta f_3 ;

d → tempo que a equipe (possivelmente designada) leva para chegar ao local do serviço após o término do serviço que está realizando;

n → número de consumidores afetados pela interrupção de energia, $n \geq 1$;

m → folga da meta, ou seja, tempo ainda disponível para atendimento do serviço sem ultrapassar a meta;

$k_d, k_n, k_m \rightarrow$ parâmetros que ajustam as curvas exponenciais ($k > 0$).

Os pesos w_i priorizam as diferentes componentes da função f . Considerando que $w_d + w_n + w_m = 1$, sendo que $w_d \geq 0$, $w_n \geq 0$ e $w_m \geq 0$. Cada parcela pode ser representada através de unidades monetárias para que a decisão de escolha dos serviços priorizados ocorra em função do prejuízo financeiro causado à concessionária. Neste caso novos parâmetros devem ser ajustados à função.

O gráfico que expressa a função distância está representado na figura 1. O eixo das abscissas expressa a distância em minutos que a equipe levará para chegar ao local do serviço solicitado. Essa distância engloba o tempo para que a equipe seja liberada do serviço atual. Pode-se perceber que quanto mais próximo à equipe está do serviço, maior prioridade terá para tender tal serviço.

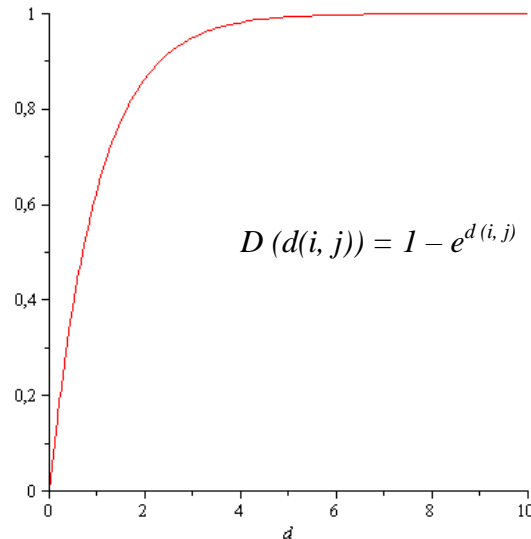


FIGURA 1 – Função distância
FONTE – MAPLE

A função número de clientes tem seu gráfico representado na figura 2. Quanto maior o número de clientes afetados em determinado evento, maior a prioridade dada no atendimento. Quando o serviço solicitado for comercial, geralmente um único cliente é afetado e, por isso, a prioridade será mínima (igual a 1).

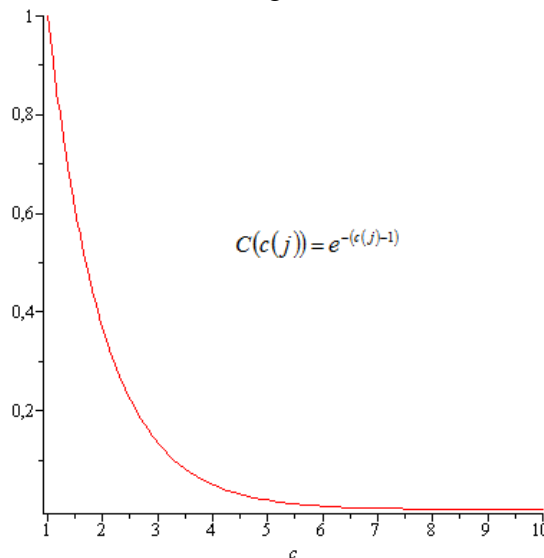


FIGURA 2 – Função número de clientes
FONTE – MAPLE

A figura 3 representa o gráfico da função desvio da meta. O eixo das abscissas expressa o desvio da meta (em minutos). Para $m < 0$, o serviço será considerado em atraso; se

$m > 0$, ainda há tempo sobrando para atender o serviço sem que seja gerada penalidade para a empresa. Quanto mais negativo m , ou seja, quanto mais atrasada está a execução do serviço, mais prioridade será dada a esse atendimento.

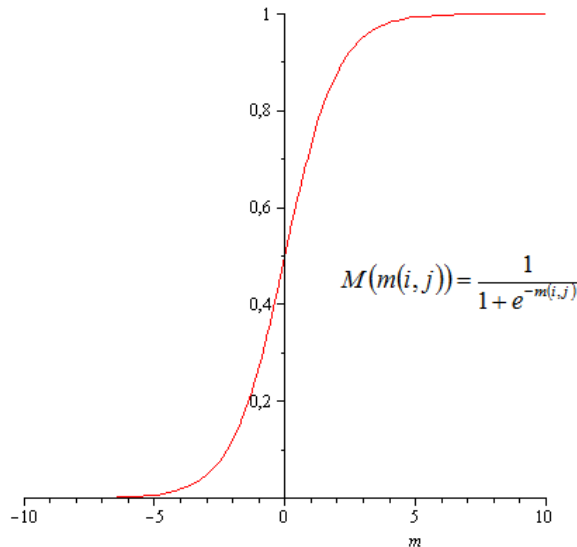


FIGURA 3 – Função desvio da meta
 FONTE – MAPLE

Nos três casos (figura 1, figura 2 e figura 3), o eixo das ordenadas representa um escalar (adimensional) que indica a prioridade que deve ser dado no atendimento. Para os três casos, $0 < y \leq 1$. Quanto mais próximo de 0, maior a prioridade dada ao atendimento e quanto mais próximo de 1, menor a prioridade.

5. DESCRIÇÃO DO ALGORITMO

De modo geral, o algoritmo utilizado pode ser descrito da seguinte forma: Sejam $i = 1, \dots, I$ e $j = 1, \dots, k, \dots, J$ (I número total de equipes, J número total de serviços).

Supondo que sejam conhecidos:

- Os parâmetros $K(1)$, $K(2)$ e $K(3)$;
- Os pesos $P(1)$, $P(2)$ e $P(3)$;
- As localizações geográficas das equipes;
- As habilitações das equipes;
- O número de clientes $c(i)$ afetados na solicitação do serviço i ;
- $D(d(i)) = \frac{1}{1 - e^{-K(1) \times d(i)}}$
- $T(t(i, j)) = 1 - e^{-K(2) \times t(i, j)}$
- $C(c(i)) = e^{-K(3) \times c(i)}$

Considerando que a equipe k está liberada, então:

Passo 1: Calcular o desvio da meta $d(i)$ do serviço i ;

Passo 2: Calcular o tempo $t(i, j)$ necessário para a equipe i chegar ao serviço j ;

Passo 3: Calcular $M(i, j) = P(1) * D(d(i)) + P(2) * T(t(i, j)) + P(3) * C(c(i))$;

Passo 4: Se a equipe i não puder atender o serviço j , faça $M(i, j) = 10^{10}$;

Passo 5: Executar o Algoritmo de Munkres considerando a matriz de custos M ;

Passo 6: A equipe k executa o serviço que lhe foi designado.

Tendo como base as informações acima, foi elaborado um programa para simular cenários, objetivando verificar a sensibilidade do algoritmo proposto, variando os parâmetros K ($K(1)$, $K(2)$ e $K(3)$) e número de equipes. Essas simulações foram elaboradas e realizadas com auxílio do *software Matlab* versão 2009.

O tempo para a simulação foi definido, arbitrariamente, em 3 mil minutos, aproximadamente dois dias. Esse mesmo tempo foi utilizado em todas as simulações.

Então, foram definidos os valores para os parâmetros de K ($K(1)$, $K(2)$ e $K(3)$) e o número de equipes. Definido o número de equipes, foram realizadas variações nos parâmetros de K , essas variações foram definidas aleatoriamente. Cada variação nos parâmetros de K foi chamada de cenários. Neste trabalho foram realizados dez cenários para cada número de equipes. Conforme mostra a tabela 2:

TABELA 2 – Variações nos parâmetros K

CENÁRIOS	$K(1)$	$K(2)$	$K(3)$
Cenário 1	0.1	0.1	0.1
Cenário 2	1000	0.1	0.1
Cenário 3	0.1	1000	0.1
Cenário 4	0.1	0.1	1000
Cenário 5	5.5	0.1	0.1
Cenário 6	10	0.1	0.1
Cenário 7	0.1	10	0.1
Cenário 8	0.1	0.1	10
Cenário 9	0.1	5.5	0.1
Cenário 10	0.1	0.1	5.5

FONTE – A autora (2010)

As variações nos parâmetros de K ($K(1)$, $K(2)$ e $K(3)$), indicam: $K(1)$ o tempo que a equipe (possivelmente designada) leva para chegar ao local do serviço após o término do serviço que está realizando; $K(2)$ representa o número de consumidores afetados pela interrupção de energia e $K(3)$ envolve a folga da meta, ou seja, tempo ainda disponível para atendimento do serviço sem ultrapassar a meta. Observando a tabela 2, percebe-se que $K(1)$, $K(2)$ e $K(3)$ têm o mesmo valor no cenário 1, isto é, $K(1)$, $K(2)$ e $K(3)$ estão tendo a mesma prioridade. Já nos demais cenários, um dos valores de K está tendo prioridade com relação aos outros dois valores.

Sendo assim, os dez cenários da tabela 3 foram simulados para 5 equipes, 8 equipes, 10 equipes, 12 equipes e 15 equipes. Os pesos $P(1)$, $P(2)$ e $P(3)$ foram programados para serem variados automaticamente de 0 a 1 (tabela 3), tomados de 0, 25 em 0, 25, de modo que:

$$P = P(1) + P(2) + P(3) = 1$$

TABELA 3 – Variação nos pesos

Variação	$P(1)$	$P(2)$	$P(3)$
1	0	0	1
2	0	0,25	0,75
3	0	0,5	0,5
4	0	0,75	0,25
5	0	1	0
6	0,25	0	0,75
7	0,25	0,25	0,5
8	0,25	0,5	0,25
9	0,25	0,75	0
10	0,5	0	0,5
11	0,5	0,25	0,25
12	0,5	0,5	0
13	0,75	0	0,25
14	0,75	0,25	0
15	1	0	0

FONTE – A autora (2010)

Foram consideradas simulações de registros das solicitações de serviços feitas durante três dias. Tais informações foram armazenadas em dois arquivos. Um intitulado de

“COMERCIAL3DIAS.txt” (para os serviços comerciais, indicados por 1) e outro intitulado “EMERGENCIAL3DIAS.txt” (para os serviços emergenciais, indicados por 0). Para efeito de explicação, a tabela 4 ilustra parte do arquivo “COMERCIAL3DIAS.txt”.

TABELA 4 – Amostra de informações do arquivo “COMERCIAL3DIAS.txt”

Instante do registro (hora)	Tipo	Meta (horas)	Clientes afetados	Habilitação da equipe	Coordenada x	Coordenada y
92	1	5760	1	3	663523	7167614
93	1	5760	1	3	663423	7167594
219	1	1440	1	1	662133	7170773
225	1	1440	1	1	659014	7169758

FONTE – Dados fictícios

Da mesma forma, a tabela 5 ilustra parte do arquivo “EMERGENCIAL3DIAS.txt”.

TABELA.5 – Amostra de informações do arquivo “EMERGENCIAL3DIAS.txt”

Instante do registro (hora)	Tipo	Meta (horas)	Clientes afetados	Habilitação da equipe	Coordenada x	Coordenada y
933	2	0	1	4	655712	7174955
955	2	0	1	1	655712	7174955
1451	2	0	1	2	660357	7172639
2033	2	0	1	3	664533	7168237

FONTE – Dados fictícios

Para gerar a simulação, o programa coloca os registros de solicitações em ordem de chegada. Então, cria um vetor do número 1 até o último número de registro realizado.

Ao final dessa etapa o programa analisa o número de equipes que está sendo considerado e o número de serviços que já foram executados. Para então verificar quantas equipes estão disponíveis e quantos serviços ainda não foram executados.

A partir de então é realizado o cálculo das distâncias entre as equipes e os serviços, distância considerada em minutos. Analisa ainda, em quanto às equipes que estão ocupadas serão liberadas. Para assim, definir quanto tempo cada equipe (do total que está sendo considerado) levará para chegar aos serviços. Sempre tendo cuidado em respeitar a meta, não deixando ocorrer ou diminuindo o tempo de atraso dos serviços.

Assim, é gerada a matriz custo. Levando em consideração as habilitações das equipes. Caso, uma determinada equipe não esteja habilitada para determinado serviço, será indicado com infinito.

Após todas as etapas, o programa realiza a designação através do algoritmo de Munkres. Podendo apresentar como resultados: o tempo que cada equipe levou durante a execução do serviço; o tempo que cada equipe levou para se deslocar até o serviço; a soma de todos os deslocamentos; o tempo total trabalhado por cada equipe; o tempo de ociosidade das equipes; a quantidade de serviços que não foram atendidos; o número de serviços atendidos; o maior desvio da meta e o desvio médio da meta.

Para este trabalho, os resultados se resumem apenas na análise da variação no número de equipes com suas respectivas variações no parâmetro K , quanto ao número de serviços atendidos, maior desvio da meta e desvio médio da meta.

O algoritmo também pode apresentar a trajetória a ser percorrida individualmente, isto é, mostrar as rotas que serão percorridas por cada equipe. Para facilitar a visualização, a figura 4 exemplifica as rotas a serem percorridas por duas equipes (uma representada pela cor vermelha e a outra pela cor azul), onde foi priorizada a meta, ou seja, meta = 1, distância = 0 e clientes = 0. E, nessas circunstâncias, foi obtido um deslocamento de 108 minutos e um desvio médio da meta de 42 minutos (a equipe ultrapassou 42 minutos do prazo previsto).

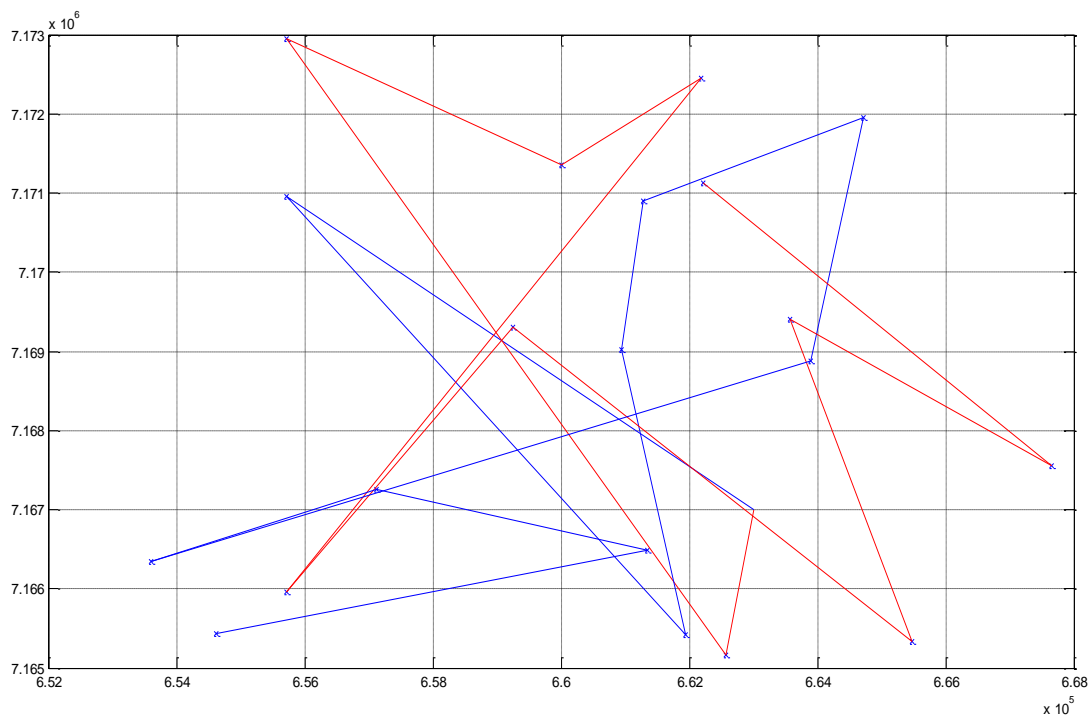


FIGURA 4 – Rotas percorridas por três equipes priorizando a meta
 FONTE - *MATLAB*

A figura 5 ilustra as rotas a serem percorridas por duas equipes, priorizando o número de clientes, ou seja, clientes = 1, distância = 0 e meta = 0. Conseguindo um deslocamento de 112 minutos e desvio da meta de 111 minutos.

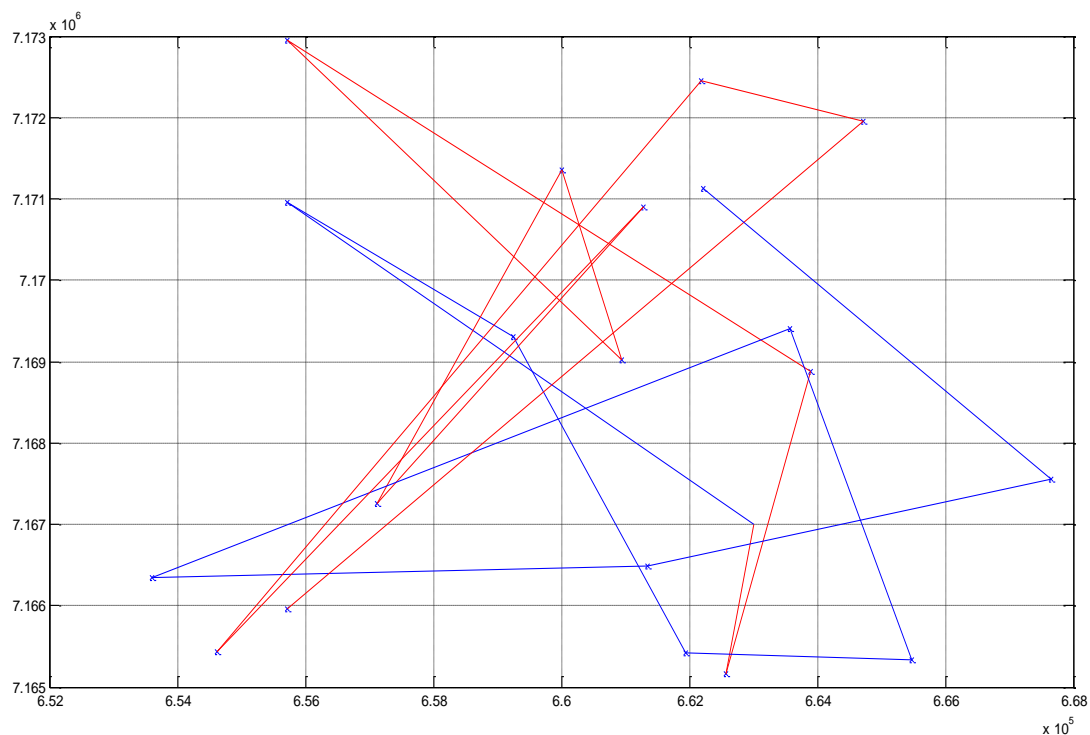


FIGURA 5 – Rotas percorridas por três equipes priorizando o número de clientes
 FONTE - *MATLAB*

Pode-se perceber que as figuras 4 e 5 apresentam suas rotas desordenadas, com muitos cruzamentos entre as equipes. O que pode se tornar inviável para a empresa, pois poderá gerar custos maiores e um atendimento inadequado ao cliente.

A figura 6 ilustra as rotas a serem percorridas por duas equipes, priorizando a distância, ou seja, distância = 1, meta = 0 e clientes = 0. Nessas circunstâncias foi conseguido um deslocamento de 102 minutos e desvio da meta de 131 minutos.

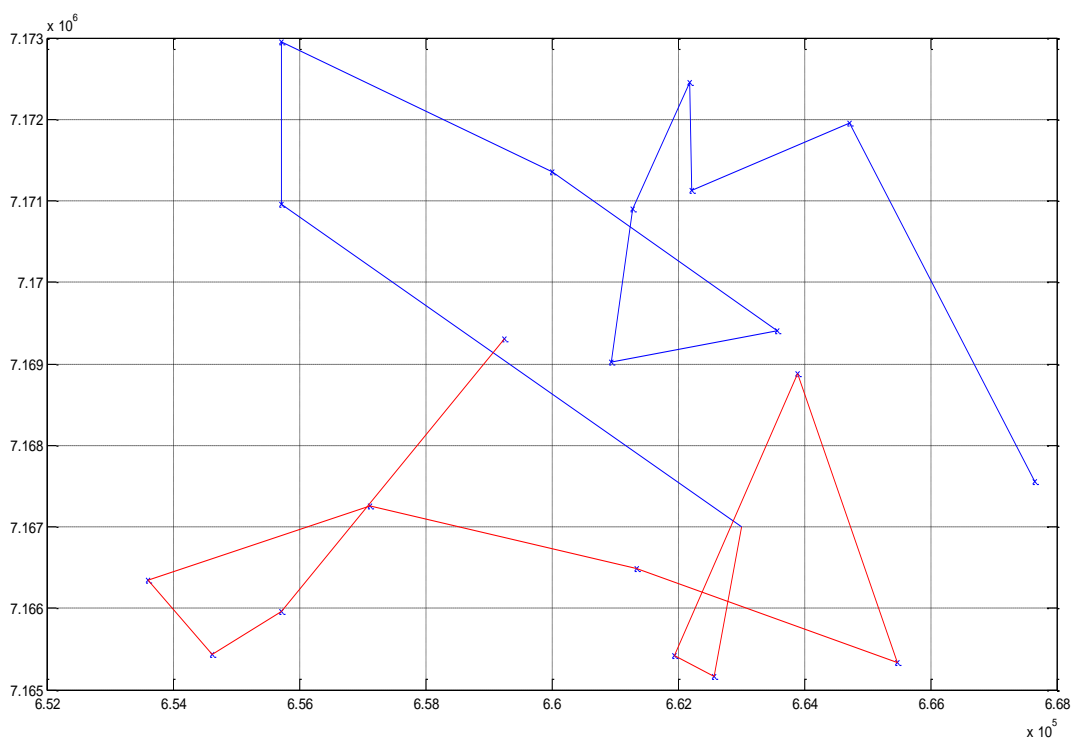


FIGURA 6 – Rotas percorridas por três equipes priorizando a distância
 FONTE - *MATLAB*

A rota representada na figura 6 é a melhor rota apresentada visualmente e que apresentou o menor deslocamento, embora tenha apresentado o maior desvio da meta. Mas, é perceptível que as equipes têm seus serviços concentrados individualmente, ou seja, praticamente não há cruzamento de rota de uma equipe com a outra.

6. ESTUDO DE CASO

Este trabalho fez parte do projeto da Universidade Federal do Paraná (UFPR) em parceria com o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) e a Companhia Paranaense de Energia (COPEL). Intitulado “Desenvolvimento de um sistema especialista de apoio ao despacho de equipes de atendimento em tempo real”.

Assim, o algoritmo de designação utilizado neste trabalho, foi testado na agência responsável pela distribuição de energia elétrica no município de Araucária, integrada a região Metropolitana de Curitiba, Paraná.

7. ALGUNS RESULTADOS

Foram simulados dez cenários para cada variação no número de equipes. Os resultados analisados neste trabalho foram: deslocamento da equipe, número de serviços atendidos pela equipe, maior desvio da meta e desvio médio da meta. Assim, foram realizadas as simulações de acordo com os dez cenários de variação no parâmetro K , apresentados na tabela 2 e, com as variações nos pesos, de acordo com a tabela 3. As simulações foram realizadas considerando cinco equipes, oito equipes, dez equipes, doze equipes e quinze equipes.

A figura 7 ilustra o gráfico do deslocamento médio de acordo com as descrições apresentadas no decorrer do texto.

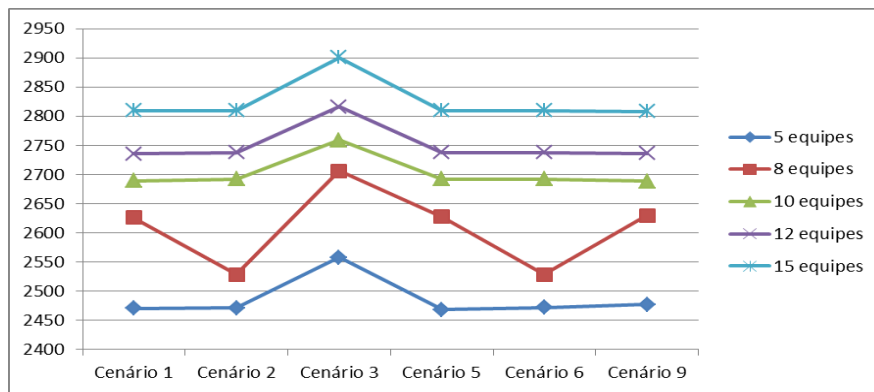


FIGURA 7 – Deslocamento médio

FONTE – Excel

Para facilitar a visualização, os cenários 4, 8 e 10 foram retirados alguns cenários por apresentarem os mesmos resultados que o cenário 1; o cenário 7 foi retirado por apresentar os mesmos resultados que o cenário 3. O mesmo ocorre para as figuras 8 e 9. O menor deslocamento foi conseguido com 5 equipes e o cenário 5, com 2468,4 minutos. O maior deslocamento foi conseguido com 15 equipes e o cenário 3 (2901 minutos).

A figura 8 ilustra o gráfico do número médio de serviços atendidos de acordo com as descrições apresentadas no decorrer do texto.

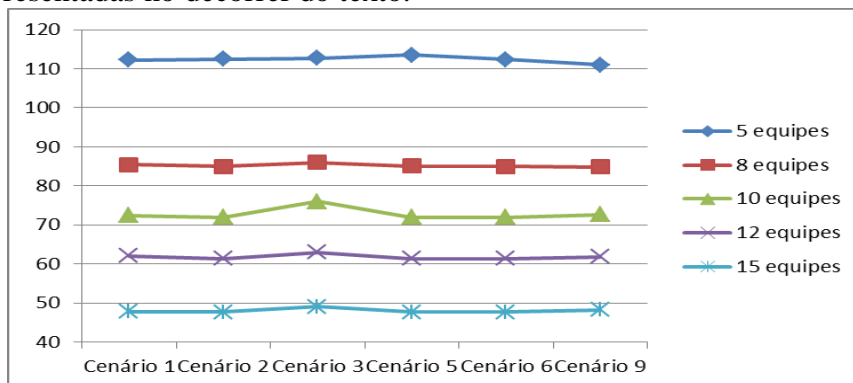


FIGURA 8 – Número de atendimento dos serviços (em média)

FONTE – Excel

O menor número de serviços atendidos foi conseguido com 15 equipes e os cenários 2,5 e 6, com aproximadamente 47 serviços. O maior número de serviços atendidos foi conseguido com 5 equipes e o cenário, com aproximadamente 113 serviços.

A figura 9 ilustra o gráfico do maior desvio da meta (em média), de acordo com as descrições apresentadas no decorrer do texto.

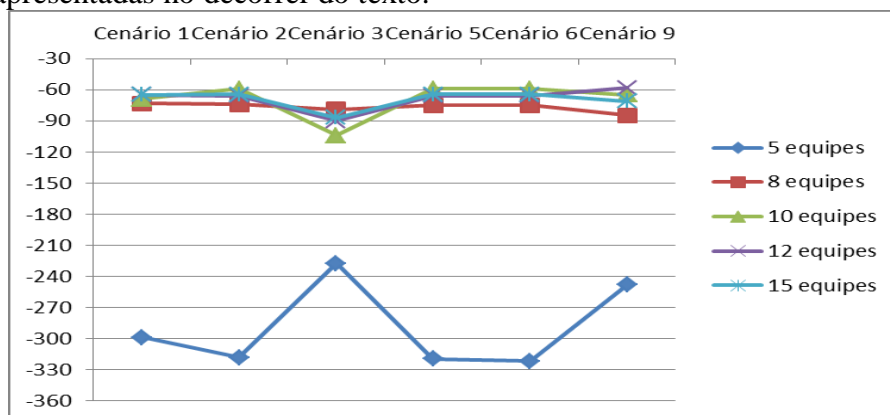


FIGURA 8 – Maior desvio da meta (em média)

FONTE – Excel

O menor desvio da meta (em média) foi conseguido com 12 equipes e o cenário 9, com -58,2 minutos. O maior desvio da meta (em média) foi conseguido com 5 equipes e o cenário 5, com - 319,553 minutos.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os conhecimentos produzidos a partir deste trabalho, representam o ponto de partida para a concepção, avaliação e implementação de algoritmos matemáticos nas mais diversas áreas, a fim de proporcionar benefícios ao trabalho humano com auxílio das novas tecnologias.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA**. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 6 – Informações Requeridas e Obrigações, ANEEL, 2010.

[2] ALEXANDRE, R. F. **Modelagem, simulação da operação e otimização multiobjeto aplicada ao problema de despacho de veículos em minas a céu aberto**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. (Dissertação de Mestrado).

[3] BOURGEOIS, F.; LASALLE, J. C. **An extension of the Munkres algorithm for the assignment problem to rectangular matrices**. Communications of the ACM 14, 1971.

[4] COSTA, E. da S. **Aplicação de técnicas de pesquisa operacional na determinação de setores de atendimento em uma concessionária de energia**. Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2005. (Dissertação de Mestrado).

[5] MAGRO, M. A. de B. **Dimensionamento de equipes baseado em modelos de previsão, simulação e alocação: caso de uma empresa do setor elétrico**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. (Dissertação de Mestrado).

[6] PASSOS, E. J. P. F. dos. **Programação Linear como instrumento da Pesquisa Operacional**. São Paulo: Atlas, 2008.

[7] STEINER, M. T. A.; ZAMBONI, L. V. S.; COSTA, D. M. B.; CARNIERI, C.; SILVA, A. L. da. O problema de roteamento no transporte escolar. **Revista Pesquisa Operacional**. vol. 10, n. 1, 2000.

[8] STEINER, M. T. A.; COSTA, C. E. da S.; COSTA, D. M. B.; ANDRETTA FILHO, É.; ZAMBENEDETTI, V. C. Técnicas da Pesquisa Operacional aplicadas à logística de atendimento aos usuários de uma rede de distribuição de energia elétrica. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**. v. 1, n. 3, p. 229-243, setembro a dezembro de 2006.

[9] TORRES, G. L.; SILVA, L. E. B. da; AOKI, A. R.; MORAES, C. H. V.; COSTA, B. R.; BARBOSA, J. A. Sistema Inteligente de Locomoção de Viaturas para Atendimento na Rede de Distribuição. **Anais do II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (CITINEL)**, Área: Gestão e Logística, p. 415-421, 2003.

[10] VOLPI, N. M. P.; WIELHM, V. E.; CARNIERI, R.; ZAMBENEDETTI, V. GROSS, J. H. Designação de serviços em uma empresa de distribuição de energia elétrica. **Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística Marinha – SPOLM: anais Rio de Janeiro, 2010**. Disponível em: <https://www.casnav.mar.mil.br/spolm/anais/73681.pdf>. Acesso em 28/10/2010.