

## **ATENDIMENTO DE ORDENS EMERGENCIAIS: UMA APLICAÇÃO BASEADA EM PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA O PROBLEMA MULTIOBJETIVO DE LATÊNCIA MÍNIMA COM M-VEÍCULOS**

**Vinícius Jacques Garcia, Daniel Pinheiro Bernardon, Magdiel Schmitz,  
Lynceo Falavigna Braghirolli, Felipe Martins Müller**

Universidade Federal de Santa Maria  
Av. Roraima 1000, Centro de Tecnologia, Sala 306, Camobi, Santa Maria, RS, Brasil  
viniciusjg@ufsm.br, dpbernardon@ufsm.br, schmitzmagdiel@gmail.com,  
lynceo@ufsm.br, felipe@inf.ufsm.br

**Júlio Fonini**

AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia  
Rua Presidente Roosevelt 68, São Leopoldo, RS, Brasil  
Julio.Fonini@aes.com

### **RESUMO**

A distribuição de energia elétrica envolve o atendimento de ordens emergenciais que normalmente relacionam um comportamento anômalo do sistema, ocasionando a falta de fornecimento de energia. Em razão disso, a atuação deve ser o mais urgente possível e requer a intervenção de equipes de manutenção. Este trabalho propõe uma abordagem baseada em programação linear inteira para resolver o problema de latência mínima com m-veículos, a partir da consideração de dois critérios de otimização: a minimização do tempo de espera das ordens emergenciais e a minimização do atraso nas ordens das rotas pré-estabelecidas. Resultados preliminares evidenciam que a proposta pode ser útil e adequada para resolução de instâncias de pequeno porte ou mesmo para definir limitantes a serem utilizados por métodos heurísticos.

**PALAVRAS CHAVE.** Ordens de serviço emergenciais. Problema da latência mínima. Programação linear. Otimização combinatória.

**Tópicos:** Problema do despacho de ordens de serviço. Problema da latência mínima. Programação matemática.

### **ABSTRACT**

Electric distribution systems involve attending emergency orders usually related to anomalous behavior of the system, causing a lack of power supply. As a result, the action must be as urgent as possible and requires the intervention of maintenance crews. This paper proposes an approach based on integer linear programming to solve the minimum latency problem with m-vehicles, from the consideration of two optimization criteria: minimizing the waiting time for emergency orders and to minimize the delay in orders previously routed. Preliminary results show that the developed model can be useful and appropriate for the resolution of small size instances or even to be embedded in heuristic methods.

**KEYWORDS.** Emergency service orders. Minimum latency problem. Linear programming. Combinatorial optimization.

**Paper topics:** Emergency service orders dispatching problem. Minimum latency problem. Mathematical programming.

## 1. Introdução

O setor de distribuição de energia elétrica envolve a manutenção de uma infraestrutura de componentes elétricos para permitir que cada consumidor tenha o seu fornecimento garantido. Em função da permanente variação do fluxo de energia, contingências podem ocorrer, requisitando, assim, a interferência de equipes de manutenção, que devem atender com a maior brevidade tais ocorrências.

Ocorre que estas equipes não atendem somente chamadas em caráter de emergência, também conhecidas como ordens emergenciais, mas também servem as chamadas provenientes de solicitações dos clientes, que são identificadas como ordens comerciais.

Em função desta necessidade de atendimento nestes dois contextos, um com ordens bem estabelecidas e conhecidas a priori e outro de caráter imprevisto e com tempo de resposta bastante reduzido, é que surge o problema de despacho de ordens emergenciais [Garcia et al., 2013]. O problema que advém deste cenário pode ser caracterizado como um problema que envolve o roteamento de ordens comerciais a partir da interrupção de uma rota pré-estabelecida para cada uma das equipes de manutenção consideradas. Desta perspectiva, seria possível enquadrá-lo na categoria dos problemas de roteamento de veículos [Toth e Vigo, 2001], com uma gama bastante significativa de contribuições [Eksioglu et al. 2009].

No entanto, quando o cenário prático envolve também o roteamento de ordens emergenciais a partir da interrupção de uma rota pré-estabelecida para cada uma das equipes de manutenção consideradas, a natureza dinâmica assume relevância e se aproxima das definições precursoras de [Psaraftis, 1995]. Desde a contribuição igualmente precursora de [Weintraub et al., 1999], o aspecto de minimizar o tempo de chegada nestes vértices que correspondem às ordens emergenciais esteve presente, o que sugere que esta natureza guarda uma pertinência significativa com o problema prático. Tal conclusão permite assumir que o problema resultante é da forma do problema da latência mínima [Silva et al., 2012], com a característica especial de envolver não apenas um caixeiro ou veículo mas um conjunto deles. Ainda, a solução deve contemplar um compromisso entre o atendimento das ordens emergenciais com a maior brevidade possível ao mesmo tempo em que minimiza a interferência na rota originalmente construída para o atendimento de ordens emergenciais.

Exatamente neste escopo é que este trabalho se insere: a proposição de uma abordagem de solução baseada em programação linear inteira que contempla dois objetivos. O primeiro deles corresponde à latência mínima das ordens emergenciais e o segundo se refere ao atraso causado no atendimento previsto das ordens comerciais. As seções a seguir apresentam a definição do problema (seção 2), o modelo de programação linear inteira proposto (seção 3), os resultados preliminares obtidos (seção 4) e finalmente as considerações finais (seção 5).

## 2. Definição do problema

O planejamento de rotas de atendimento para equipes de manutenção é parte do escopo de trabalho dos centros de operação da distribuição (CODs), das concessionárias de energia elétrica. Dois tipos fundamentais de ordens são assumidos [Garcia et al., 2013]:

- a) As ordens comerciais: conhecidas a priori, são tipicamente originadas de requisições dos clientes;
- b) As ordens emergenciais: são originadas aleatoriamente e podem ocorrer a qualquer momento, caracterizadas como qualquer ocorrência que envolva alguma situação em que a rede de distribuição de energia elétrica oferece riscos a terceiros ou mesmo em situações em que há um certo grau de ausência de fornecimento para alguns consumidores.

A partir da premissa assumida que prevê que o uso de equipes de manutenção atendem os dois tipos de ordem, então promovendo a qualificação de multitarefa para as essas equipes, emergem os atributos relacionados com a estrutura parcialmente dinâmica descrita por Larsen e

outros [Larsen et al., 2002]. A Figura 1 ilustra uma solução hipotética para o atendimento de 6 ordens comerciais, com duas equipes de manutenção: a rota 1 inicia no vértice 1 e visita os vértices 3, 5 e 7; a rota 2 inicia no vértice 2 e visita os vértices 8, 6 e 4. Para este caso, os vértices de saída equivalem do depósito do problema de roteamento de veículos.

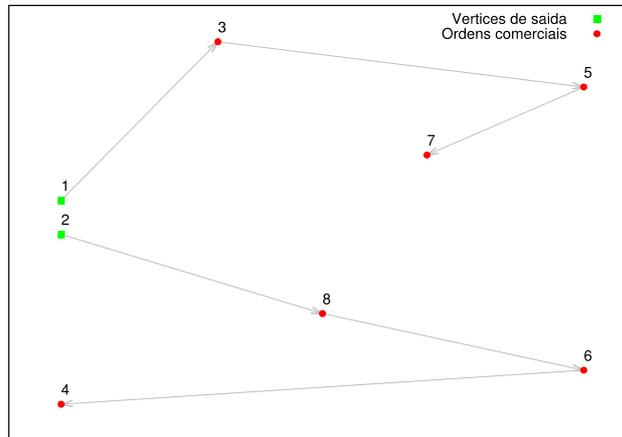


Figura 1: Uma solução hipotética para atendimento de ordens comerciais.

Quando os cenários parcialmente dinâmicos são assumidos, um certo número de ordens emergenciais surgem para serem atribuídas para as equipes. A Figura 2 ilustra o caso em que 2 ordens (9 e 10), descrevendo agora a necessidade de alterar a rota previamente construída a partir da questão bastante fundamental: os vértices de saída agora corresponderão ao exato momento em que as ordens emergenciais são considerados e as rotas são interrompidas durante o percurso de um vértice para o outro ou mesmo quando a equipe está em atendimento em um determinado vértice.

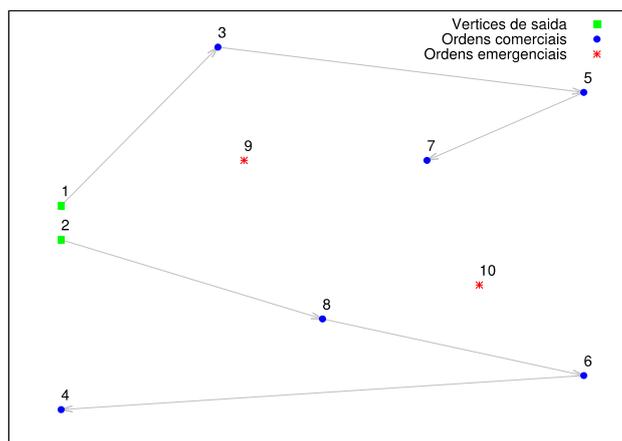


Figura 2: Uma instância hipotética para o problema de despacho de ordens emergenciais.

A partir deste momento, passa a ser determinante a consideração dos tempos de chegada previstos em cada vértice, dado que um critério preponderante se refere ao tempo de espera para as ordens emergenciais. A Tabela 1 apresenta o tempo de chegada calculado para as ordens comerciais, em minutos. O tempo de serviço, apresentado na terceira coluna, também está apresentado em minutos e se refere ao tempo previsto que uma equipe ficará em um determinado vértice para completar o atendimento.

Tabela 1: Tempos de chegada em cada vértice das rotas da Figura 2.

Rota	Vértice	Tempo de serviço	Tempo de chegada
1	1	0	0
1	3	10	15,23
1	5	3	39,79
1	7	55	60,27
2	2	0	0
2	8	6	12,20
2	6	3	29,38
2	4	30	55,61

Neste momento o problema passa a ser primeiramente definido pelo em que as ordens emergenciais são consideradas, o que passa a ser chamado de momento da perturbação. A partir deste instante de tempo é que a solução para o atendimento das ordens emergenciais será calculada. E exatamente este momento é que definirá uma solução com uma interferência maior ou menor na rota.

Como exemplo, considera-se um caso em que a perturbação com que gerou as duas ordens emergenciais da Figura 2 ocorreu no instante  $t=0$ , ou seja, quando as equipes ainda estavam no seu ponto de partida. O resultado é apresentado na Figura 3.

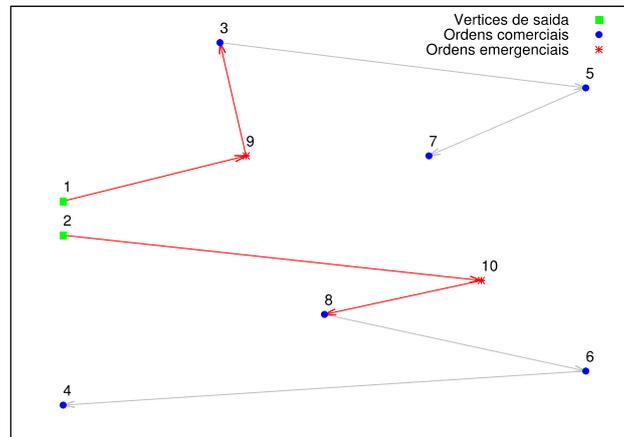


Figura 3: Solução para a instância da Figura 2 ( $t=0$ ).

Agora caso a perturbação ocorresse no instante  $t=27$ , apenas depois de completar as ordens 3 e 8 que as ordens emergenciais 9 e 10 restarão pendentes, possibilitando que a solução que visa a minimização do tempo de espera destas ordens seja aquela apresentada na Figura 4.

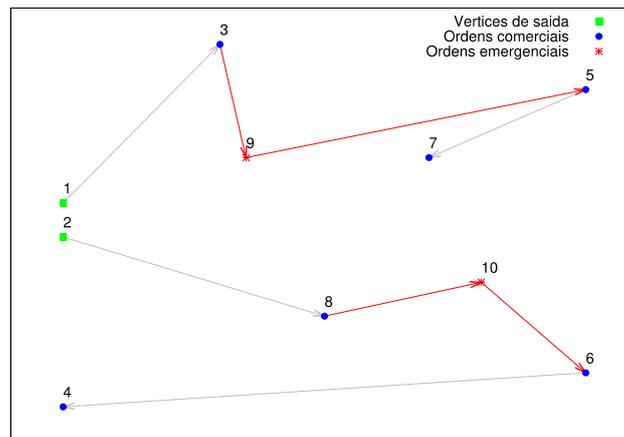


Figura 4: Solução para a instância da Figura 2 ( $t=27$ ).

Exatamente esta caracterização do problema a partir do instante da perturbação e da rota restante que será objeto de análise no modelo da próxima seção, de modo que não apenas o tempo de chegada nas ordens emergenciais seja o menor possível mas sobretudo que o compromisso também com o tempo de atraso nas ordens comerciais que ainda restam nas rotas seja também considerado.

### 3. Modelo de programação linear inteira proposto

O problema de atendimento de ordens de serviço emergenciais por meio de equipes multitarefa, também conhecido como problema de despacho de ordens de serviço emergenciais [Garcia et al., 2013], corresponde ao compromisso entre a máxima premência e a mínima interferência na rota pré-existente, ou programada. Portanto, o aspecto multiobjetivo é inerente a partir desta premissa.

Quanto às demais conformações do problema, há também vários atributos que necessariamente devem ser considerados, conforme a contribuição de [Vidal et al., 2013] e a taxonomia de [Eksioglu et al., 2009]:

1. O método de solução deve ser de tempo real (1.2.4);
2. Tempo de serviço nos vértices (2.5.2);
3. Múltiplas origens (3.4.2);
4. Equivalente ao problema do Caixeiro Viajante (Cook, 2012) (3.7.1);
5. Veículos não capacitados (3.8.2);
6. Parcialmente dinâmico (4.1.2).

Com esses atributos assumidos, a descrição do modelo proposto será desenvolvida primeiramente apresentando os parâmetros envolvidos, seguido das variáveis e finalmente do conjunto de equações que definem a função objetivo e cada uma das restrições.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros gerais, enquanto a Tabela 3 apresenta os parâmetros relacionados às equipes e a Tabela 4 contempla os parâmetros relacionados às ordens (vértices). Finalmente a Tabela 5 apresenta as variáveis de decisão propostas.

Tabela 2: Parâmetros gerais.

<i>Parâmetro</i>	<i>Descrição</i>
$D_{ij}$	Distância em horas entre o vértice $i$ e o vértice $j$
$\alpha$	Fator de ponderação dos critérios considerados

Tabela 3: Parâmetros relacionados às equipes.

<i>Parâmetro</i>	<i>Descrição</i>
$PRED_i$	Conjunto com todas as ordens predecessoras da ordem $i$ na rota inicial: $i   V_s \in V_c \in V_e$
$R$	Conjunto de todas as rotas
$RT_i$	Rota inicial da ordem $i$
$SEQ_i$	Posição relativa da ordem $i$ na rota inicial correspondente
$SUC_i$	Conjunto com todas as ordens sucessoras da ordem $i$ na rota inicial: $i   V_s \in V_c \in V_e$
$U$	Tempo máximo aceitável para que toda equipe finalize a sua rota
$V_s$	Conjunto de todos os vértices de saída, correspondentes às posições iniciais das equipes
$V_t$	Conjunto de todos os vértices terminais

Tabela 4: Parâmetros relacionados às ordens.

<i>Parâmetro</i>	<i>Descrição</i>
$CO_i$	Custo da ordem $i$ (em R\$/hora)
$TC_i$	Tempo de chegada para a ordem $i$ na rota inicial
$TE_i$	Tempo em que a ordem emergencial $i$ foi gerada
$TS_i$	Tempo de serviço da ordem $i$ , $i \in V \setminus V_s \setminus V_t$
$V$	Conjunto de todas as ordens nodes: $V = V_c \cup V_e \cup V_s \cup V_t$
$V_d$	Conjunto de todas as ordens que já estão atribuídas às equipes $V_d = \{i \mid V_c \cup V_e \mid RT_i = 1\}$
$V_c$	Conjunto das ordens comerciais
$V_{ce}$	$V_{ce} = V_c \cup V_e$
$V_e$	Conjunto das ordens emergenciais
$V_{en}$	Conjunto das ordens emergenciais que requerem atribuição às rotas: $V_{en} = \{i \mid V_e \mid RT_i = -1\}$
$V_{ens}$	$V_{ens} = V_{en} \cup V_s$
$V_r$	Conjunto de todas as ordens que já estão atribuídas nas rotas iniciais: $V_r = \{i \mid V_e \mid RT_i = 1\}$
$V_{sce}$	$V_{sce} = V_s \cup V_c \cup V_e$

Tabela 5: Variáveis de decisão propostas.

<i>Conjunto</i>	<i>Descrição</i>
$x_{ijr}$	Variável binária que indica se a ordem $i$ precede a ordem $j$ na rota $r$ : $x_{ijr} = 1$ em caso afirmativo e $x_{ijr} = 0$ caso contrário
$y_{ir}$	Variável binária que indica se a ordem $i$ está incluída na rota $r$ : $y_{ir} = 1$ em caso afirmativo e $y_{ir} = 0$ caso contrário
$t_i$	Tempo de chegada na ordem $i$
$te_i$	Tempo de espera da ordem emergencial $i$
$ta_i$	Tempo de atraso da ordem comercial $i$
$u_i$	Variável inteira que indica a posição relativa da ordem $i$ na rota correspondente

O modelo proposto está definido nas Equações (1)-(29). A função objetivo está definida na Equação (1), que corresponde a minimização do tempo de espera para as ordens emergenciais não atribuídas e a minimização do tempo de atraso para as ordens já atribuídas na rota.

A Equação (2) garante que todas as ordens inicialmente atribuídas devam permanecer em suas rotas originais, enquanto a Equação (3) define que todas as ordens devam estar atribuídas a alguma rota. A garantia de que toda rota deve ter exatamente um vértice de saída e um vértice terminal é dada nas Equações (4) e (5), respectivamente.

A Equação (6) garante que cada vértice de saída deve ter exatamente um sucessor no conjunto  $V \setminus V_s$ , enquanto a Equação (7) estabelece que todos os vértices terminais devem ter exatamente um predecessor pertencente ao conjunto  $V \setminus V_t$ . A Equação (8) estabelece que todo vértice terminal deve ter exatamente um vértice de saída como o seu sucessor. As Equações (9) e (10) garantem que todas as ordens previamente alocadas nas rotas iniciais devem ter um vértice sucessor e um vértice predecessor, respectivamente.

As Equações (11)-(13) correspondem às restrições de acoplamento entre os conjuntos de variáveis  $x$  e  $y$ . Caso uma certa ordem  $i$  esteja alocada para uma rota  $r$  ( $y_{ir} = 1$ ), esta ordem deve ter uma ordem predecessora nesta mesma rota e também uma ordem sucessora, Equações (11) e (12), respectivamente. A Equação (13) requer que todos os vértices terminais devam ser vértices predecessores de exatamente um vértice de saída. As ligações próprias são proibidas pela Equação (14).

Como é necessário definir rotas que não apresentem subciclos, as restrições Miller-Tucker-Zemlin (MTZ) [Miller et al., 1960][Bektas e Gouveia, 2014] são definidas nas Equações (15)-(19). Estas restrições são construídas a partir da criação das variáveis adicionais  $u$  associadas a cada vértice do problema, de tal modo a definir a ordem relativa de cada um deles na rota correspondente.

As Equações (20)-(21) se referem à definição dos tempos de chegada em cada vértice, assumindo o tempo igual a zero nos vértices de saída, Equação (20). O cálculo propriamente dito do tempo de chegada em cada vértice é realizado na Equação (21), que considera o tempo de chegada no vértice predecessor  $i$  ( $t_i$ ), o tempo de serviço no vértice  $i$  ( $TS_i$ ) e a distância entre o vértice predecessor  $i$  e o vértice atual  $j$  ( $D_{ij}$ ).

As restrições das Equações (22) e (23) permitem calcular as variáveis que definem o tempo de espera para as ordens emergenciais não atribuídas nas rotas iniciais e o tempo de atraso nas ordens previamente atribuídas, respectivamente. Estes dois conjuntos de variáveis  $te$  e  $ta$  integram a função objetivo e descrevem os dois componentes fundamentais desta função.

Finalmente as Equações (24)-(29) se referem ao domínio das variáveis de decisão propostas.

$$\text{Min } (1-a) \cdot \sum_{i \in V_{en}} CO_i t_e + a \cdot \sum_{i \in V_d} CO_i t_a \quad (1)$$

Sujeito a:

$$y_{ir} = 1, \quad " i \in V_d, " r \in R, r = RT_i \quad (2)$$

$$\sum_{r \in R} \hat{a} y_{ir} = 1, \quad " i \in V \quad (3)$$

$$\sum_{i \in V_s} \hat{a} y_{ir} = 1, \quad " r \in R \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V_t} \hat{a} y_{ir} = 1, \quad " r \in R \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V \setminus V_d, i \in V_s, r \in R} \hat{a} \hat{a} x_{ijr} = 1, \quad " i \in V_s \quad (6)$$

$$\sum_{j \in V \setminus V_t, i \in V_t, r \in R} \hat{a} \hat{a} x_{ijr} = 1, \quad " i \in V_t \quad (7)$$

$$\sum_{j \in V_s, r \in R} \hat{a} \hat{a} x_{ijr} = 1, \quad " i \in V_t \quad (8)$$

$$\sum_{j \in V_{en}, EV_i \in \text{SUC}_i, r \in R} \hat{a} \hat{a} x_{ijr} = 1, \quad " i \in V_d \quad (9)$$

$$\sum_{j \in V_{ens} \in \text{PRED}_i, r \in R} \hat{a} \hat{a} x_{ijr} = 1, \quad " i \in V_d \quad (10)$$

$$\sum_{j \in V, i \in j} \hat{a} x_{ijr} = y_{ir}, \quad " i \in V, " r \in R \quad (11)$$

$$\sum_{j \in V, i \in j} \hat{a} x_{jir} = y_{ir}, \quad " i \in V, " r \in R \quad (12)$$

$$\sum_{j \in V_s} \hat{a} x_{ijr} = y_{ir}, \quad " i \in V_t, " r \in R \quad (13)$$

$$x_{ir} = 0, \quad " i \in V, " r \in R \quad (14)$$

$$u_i = 1, \quad " i \in V_s \quad (15)$$

$$u_i \geq 2, \quad " i \in V \setminus V_s \quad (16)$$

$$u_i \in |V|, \quad " i \in V \setminus V_s \quad (17)$$

$$u_i - u_j + |V| x_{ijr} \in |V| - 1, \quad " i, j \in V \setminus V_s, " r \in R \quad (18)$$

$$u_i < u_j, \quad " i, j | V_d, SEQ_i \in SEQ_j \quad (19)$$

$$t_i = 0, \quad " i | V_s \quad (20)$$

$$t_j \geq t_i + TS_j + D_{ij} - U(1 - x_{ijr}), \quad " i | V \setminus V_t, " j | V \setminus V_s, " r | R, i \neq j \quad (21)$$

$$te_i \geq t_i - TE_i, \quad " i | V_{en} \quad (22)$$

$$ta_i \geq t_i - TC_i, \quad " i | V_d \quad (23)$$

$$x_{ijr} \in \{0,1\}, \quad " i, j | V, " r | R \quad (24)$$

$$y_{ir} \in \{0,1\}, \quad " i | V, " r | R \quad (25)$$

$$t_i \in R^+, \quad " i \in V \quad (26)$$

$$te_i \in R^+, \quad " i \in V_{en} \quad (27)$$

$$ta_i \in R^+, \quad " i \in V_d \quad (28)$$

$$u_i \in Z^+, \quad " i \in V \quad (29)$$

Com este modelo definido, a solução exata para os problemas de atendimento de ordens emergenciais será alcançada por meio da utilização do pacote comercial CPLEX 12.5.1 [IBM ILOG CPLEX, 2012], como será demonstrado na próxima seção.

#### 4. Resultados

Os resultados preliminares alcançados com o modelo proposto da seção anterior contemplaram a resolução de duas instâncias, conforme ilustra a Figura 5 e a Figura 6. A Tabela 6 resume os dados de cada instância, assumindo que a geração das ordens emergenciais foi aleatória. Os valores de alfa foram escolhidos para evidenciar as duas características dos dois componentes da função objetivo, Equação (1).

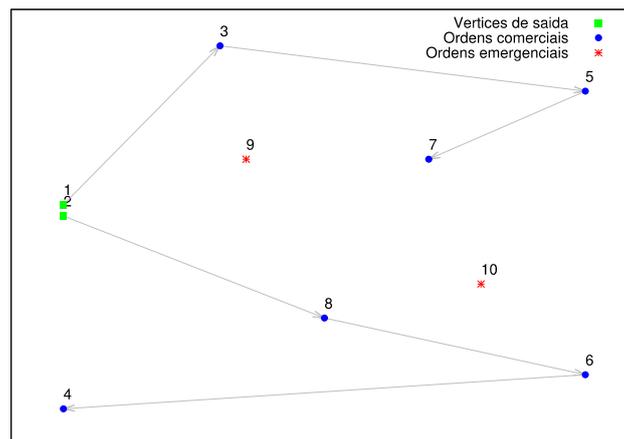


Figura 5: Instância 1.

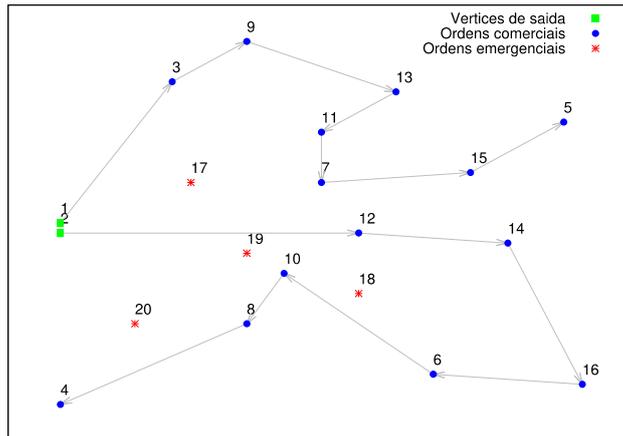


Figura 6: Instância 2.

Tabela 6: Resumo dos dados das instâncias consideradas.

<i>Instância</i>	<i>Núm. rotas</i>	<i>Núm. ordens comerciais</i>	<i>Núm. ordens emergenciais</i>
<b>1</b>	2	6	2
<b>2</b>	2	14	4

O parâmetro  $\alpha$  que vincula a ponderação da função objetivo sobre o critério tempo de espera para as ordens emergenciais e tempo de espera para as ordens comerciais foi ajustado para reproduzir os dois critérios de definidos na Equação (1). A Figura 7 e a Figura 8 apresentam o resultado para  $\alpha=0$  e  $\alpha=1$  para a Instância 1, respectivamente. A Figura 9 e a Figura 10 apresentam o resultado para  $\alpha=0$  e  $\alpha=1$ .

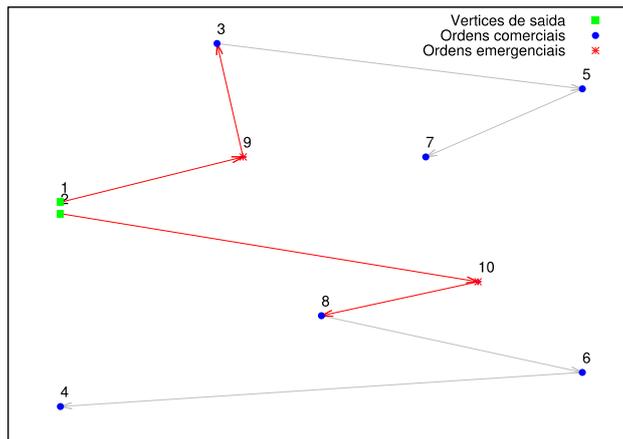


Figura 7: Solução para a Instância 1, com  $\alpha=0$ .

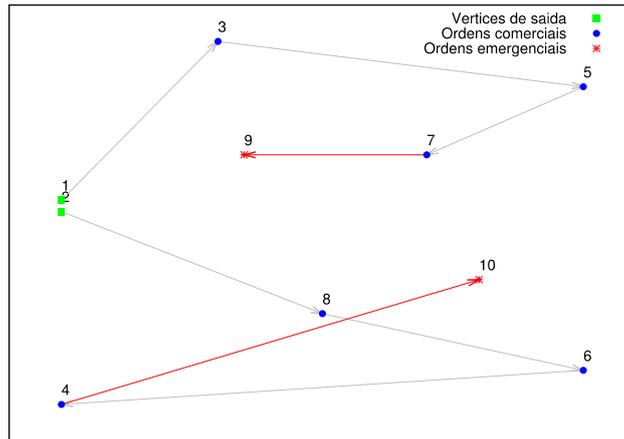


Figura 8: Solução para a Instância 1, com  $\alpha=1$ .

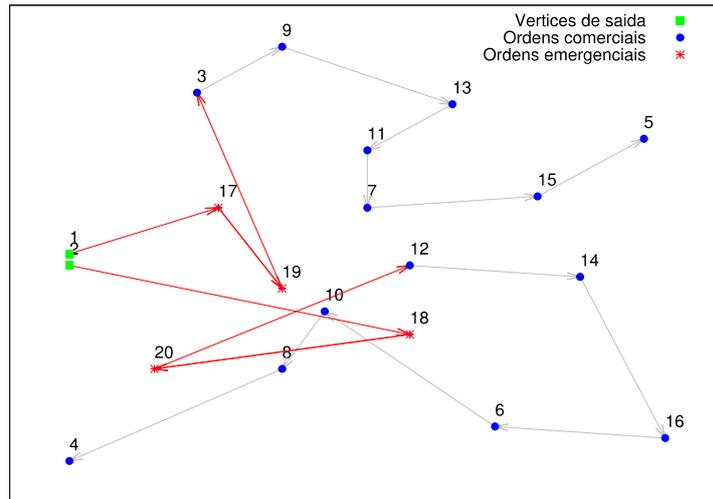


Figura 9: Solução para a Instância 2, com  $\alpha=0$ .

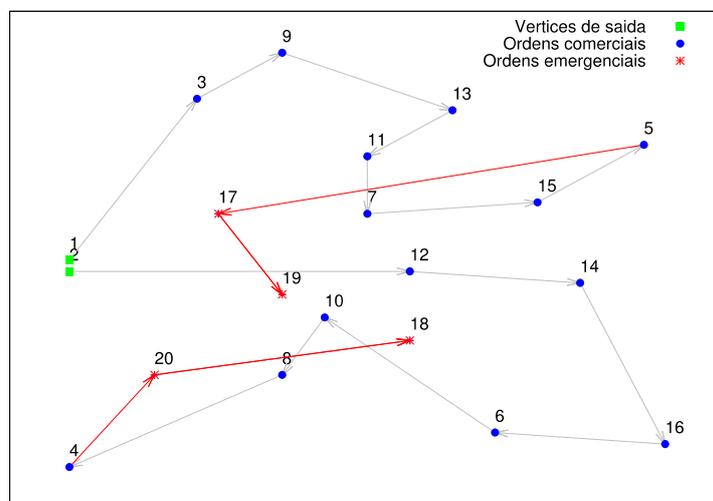


Figura 10: Solução para a Instância 2, com  $\alpha=1$ .

Como um dos objetivos destes resultados preliminares foi avaliar a condição de resolver de forma exata as instâncias com as respectivas dimensões, os tempos de resolução foram de menos de 0,5 segundos, considerando um processador Intel Core I5, 1,8 GHz. Adicionalmente, foi possível observar que o comportamento das soluções apresentou coerência em relação ao parâmetro  $\alpha$ , no que diz respeito à consideração dos dois critérios incluídos na função objetivo da Equação (1).

## 5. Considerações finais

Este trabalho apresenta uma abordagem baseada em programação linear inteira para resolver o problema de atendimento de serviços emergência em concessionárias de energia elétrica, considerando um problema parcialmente dinâmico. Dois critérios foram assumidos na função objetivo: a minimização do tempo de espera para as ordens emergenciais e a minimização do atraso nas ordens previamente alocadas. O problema resultante corresponde ao problema da mínima latência, considerando  $m$  veículos e os dois critérios definidos.

Os resultados preliminares foram animadores para a possibilidade de utilização deste modelo na solução exata de instâncias de pequeno porte. A função objetivo também se mostrou adequada para destacar maior ou menor relevância para os dois critérios assumidos, por meio da definição do parâmetro  $\alpha$ .

Trabalhos futuros destacarão a influência dos custos das ordens na ponderação do tempo de espera e, por conseguinte, na solução final do modelo exato. Adicionalmente, será oportuno investigar como este modelo pode ser utilizado para resolver instâncias de médio porte, a partir de relaxações que forneçam limitantes para métodos heurísticas.

## Agradecimentos

Os autores são gratos a AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia, pelo financiamento dos projetos “Sistema de Apoio à Decisão para Despacho automático e integrado de ordens de serviços emergenciais” e “Planejamento dinâmico de operações”, cujos resultados propiciaram o desenvolvimento deste trabalho.

## Referências

- Bektas, T., Gouveia, L. Requiem for the Miller–Tucker–Zemlin subtour elimination constraints? *European Journal of Operational Research*. 2014; 236(3): 820–832.
- Cook, W. In pursuit of the traveling salesman: mathematics at the limits of computation. Princeton University Press, New Jersey, 2012.
- Eksioglu, B., Vural, A.V., Reisman, A. The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*. 2009; 57(4): 1472-1483.
- Garcia, V.J., Bassi, O.A., Dhein, G., Bernardon, D.P., Cardoso Júnior, G. Proposta de modelo matemático para o problema de despacho de ordens de serviço emergências em concessionárias de energia elétrica. In Anais do XLV SBPO, Natal, 2013.
- IBM ILOG CPLEX, [http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/#/SSSA5P\\_12.5.1/ilog.odms.studio.help/Optimization\\_Studio/topics/COS\\_home.html](http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/#/SSSA5P_12.5.1/ilog.odms.studio.help/Optimization_Studio/topics/COS_home.html), 2012.
- Larsen, A., Madsen, O., Solomon, M. Partially dynamic vehicle routing—models and algorithms. *Journal of the Operational Research Society* vol. 53, no. 6, pp. 637–646, 2002.
- Miller, C., Tucker, A.W., Zemlin, R.A. Integer programming formulations and traveling salesman problems. *Journal of Association for Computing Machinery*. 1960; 7: 326–329.

Psaraftis, H.N. Dynamic Vehicle Routing Problems. In: Golden BL, Assad, A editors. *Vehicle Routing: Studies in Management Science and Systems*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B V; 1988. p. 223–248.

Silva, M.M., Subramanian, A., Vidal, T., Ochi, L.S. A simple and effective metaheuristic for the Minimum Latency Problem. *European Journal of Operational Research*, vol. 221, no. 3, pp. 513–520, Sep. 2012.

Toth, P. e Vigo, D. *The Vehicle Routing Problem*. Discrete Math, Siam Monographs on Discrete Mathematics and Applications, 2001.

Vidal, T., Crainic, T.G., Gendreau, M., Prins, C. Heuristics for Multi-Attribute Vehicle Routing Problems: A Survey and Synthesis. *European Journal of Operational Research*. 2013; 231: 1–21.

Weintraub, A., Aboud, J., Fernandez, C., Laporte, G., Ramirez, E. An emergency vehicle dispatching system for an electric utility in Chile, *Journal of Operations Research Society*, pp. 690–696, 1999.