

SUPORTE A DECISÃO EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA: GERENCIAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE RECURSOS EM REDES DE TRANSPORTES

Frederico Ferreira, Ph.D.

Aline Eloyse Lang, Msc.

Departamento de Engenharia Civil e Recursos Naturais
Universidade de Canterbury, Nova Zelândia

RESUMO

Este artigo apresenta a proposta de uma ferramenta de suporte à decisão em situações de emergência para o caso da alocação de recursos em redes de transporte. O aumento da ocorrência de desastres bem como suas graves consequências para sociedades e economias faz necessária a pesquisa e desenvolvimento de conhecimento, metodologias e sistemas para o gerenciamento de emergências. Assim, apresenta-se uma metodologia que emprega ferramentas de modelagem matemática e estudos empíricos. Conclui-se ainda que o uso da técnica de simulação de cenários aliada a ferramentas de modelagem possui potenciais para o suporte à decisão no gerenciamento e distribuição de recursos em redes de transportes. Por fim, os estudos de caso indicaram a necessidade de desenvolvimento de um sistema protótipo de apoio a decisão, a fim de permitir uma melhor avaliação de suas contribuições para o gerenciamento de emergências, bem como facilitar pesquisas em processos de decisão durante emergências.

ABSTRACT

This paper presents a study conducted towards a better understanding of decision support during emergencies. The case of resource allocation in transport networks is considered. Increasing number of disasters and associated consequences to societies and economies indicated the need for research and development, methodologies and systems to support better emergency management practices. In this context, a novel approach is used considering practical experiences and mathematical modeling techniques. It is concluded that desktop games along with traditional cost modeling have potentials to support decision-making during emergencies in the context of resource allocation in transport networks. This research indicates the need for future research endeavors on developing a complete suite of tools (i.e. a decision support system demonstrator) as well as deeper investigation of decision-making processes applied during emergencies.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o aumento na ocorrência de desastres naturais e suas consequências devastadoras vêm impulsionando pesquisa e desenvolvimento (P&D) na grande área de Gerência de Emergências. Dentre os desastres que assolaram o mundo nas últimas duas décadas, vale destacar os terremotos de Northridge, Estados Unidos da América – 1994 e Kobe, Japão – 1995; os tsunamis de Sumatra, Ásia – 2004 e Tōhoku, Japão – 2011, o furacão Katrina, Estados Unidos da América – 2005, etc. A nível nacional, destaca-se as enchentes em Santa Catarina em 2008, os trágicos acontecimentos na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 e diversas enchentes e quedas de barreira. Somente entre janeiro e abril de 2010, a Secretaria Nacional de Defesa Civil (SNDC, 2010) registrou em seu sistema de notificação de desastres a ocorrência de 312 emergências. No referido período, os estados do Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e Santa Catarina lideraram as estatísticas com 79, 71 e 59 eventos, respectivamente, que totalizam 67% do total das emergências. Nota-se que as ocorrências, tratam-se na grande maioria de eventos relacionados a fatores climáticos, tais como enchentes, alagamentos, vendavais, tempestades, deslizamentos de terra, etc.

Tais acontecimentos, tanto a nível mundial quanto nacional, apontaram para a necessidade de desenvolvimento de ferramentas de gestão de riscos e desastres. Além disso, ressaltam a importância da adoção de rigorosas políticas públicas que contemplem a natureza dinâmica de desastres. Tais incentivos visam à estruturação de procedimentos, efetividade, eficácia e eficiência da resposta, oferta de linhas de financiamento para a reconstrução de infra-

estruturas após desastres, dentre outros. Nesse sentido, objetiva-se primordialmente reduzir os impactos sociais e econômicos às comunidades sujeitas a desastres.

Estudos estimaram que desastres vitimaram aproximadamente 535 mil pessoas e contabilizaram danos da ordem de US\$ 684 bilhões somente na década de 90 (IFRCRCS, 2002). Scaruffi (2008) lista uma série de eventos, que de forma cíclica, provocaram danos econômicos e sociais em diversos países no decorrer da história da humanidade. Atualmente, observa-se o agravamento das consequências associadas a desastres em razão do crescimento populacional, complexidade de infra-estruturas e sistemas críticos, dependência tecnológica, habitação em áreas de risco, etc. Pesquisadores e operadores públicos e privados reconhecem a dificuldade no gerenciamento de desastres, porém a literatura científica evidencia ações nas quais planejamento, treinamento e ferramentas de apoio atuaram de forma decisiva para a redução de danos e perdas econômicas e sociais (ResOrgs, 2011 e Mendonça *et al.* 2006).

No campo específico dos transportes, cita-se o exemplo dos processos gerenciais adotados pela CALTRANS (*California Department of Transportation*) no decorrer da resposta e reconstrução do sistema viário após o Terremoto de Northridge em 1994. Considerado um modelo de sucesso no gerenciamento de emergências (Giovinazzi *et al.*, 2008), autores relatam o uso de inúmeras ferramentas e sistemas tais como, o *Traffic Management Centre* e o *Automated Traffic Surveillance and Control System*. De forma jamais relatada anteriormente, observou-se a contratação *in loco* de empresas empreiteiras, com garantia de pagamento para a utilização de maquinário e pessoal nas etapas iniciais de remoção de entulho, sinalização de desvios, prestação de socorro e informação ao público. Desta forma, foi possível a implantação de forma ágil e eficiente dos planos previamente definidos.

Neste contexto, a comunidade científica vem se empenhando na pesquisa, análise e desenvolvimento do gerenciamento de desastres. Em transportes, argumenta-se a validade dos modelos tradicionais de gerenciamento de desastres, assim como o real suporte que sistemas podem oferecer aos profissionais e organizações envolvidas na resposta a eventos. A literatura indica uma vasta gama de pesquisas em áreas afins, porém poucos são os estudos diretamente relacionados ao tópico. Kepaptsoglou *et al.* (2007) retrata o papel da comunicação no gerenciamento de redes de transportes. Mendonça and Wallace (2007), Mendonça *et al.* (2001) and Mendonça *et al.* (2006) usam a teoria da decisão para a proposta de sistemas e auxílio a improvisação. Complementarmente, modelos de transportes foram propostos para a identificação de caminhos mínimos e transporte de materiais perigosos (Cherrie and Dickson, 2006; Fu *et al.*, 2006; Liu, 1997; Liu *et al.*, 2006a; Liu *et al.*, 2006b; Takeuchi and Kondo, 2003), confiabilidade de redes (Nicholson, 2007), gestão de riscos (Asakura, 2004; Dalziell e McManus, 2004) e modelagem de evacuação (Fu *et al.*, 2007; Moriarty *et al.*, 2007).

Em contrapartida aos estudos apresentados no parágrafo anterior, muito ainda há de ser feito para que se atinja uma profunda compreensão da interface entre sistemas de transportes e emergências. Este artigo apresenta uma proposta de integração entre a prática e pesquisa, de forma a estudar o contexto no qual decisões são tomadas no caso específico de priorização e alocação de recursos em redes de transportes. Após esta introdução, processos de decisões em emergências são analisados na segunda seção. Para tanto, o uso das técnicas de simulação de cenários e jogos de mesa (*desktop games*) são utilizadas de forma a reproduzir situações comuns às emergências e possibilitar a coleta de dados de forma estruturada para análise. Utilizando-se dos dados e experiências adquiridas em 12 simulações, um modelo de alocação

de recursos em redes de transportes durante emergências é proposto na terceira seção. Ainda na seção três, o modelo é avaliado segundo o suporte oferecido aos usuários, bem como o modelo matemático proposto é analisado utilizando-se de um estudo de caso teórico. Finalmente, conclusões sobre a real efetividade de sistemas de apoio a decisão são obtidas assim como recomendações para trabalhos futuros listados na quarta e última seção.

2. PROCESSOS DE DECISÃO EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

A complexidade dos processos de decisão durante emergências aliada à limitada disponibilidade de dados fazem do estudo de emergências um grande desafio para a comunidade científica. Neste sentido, pesquisadores vêm procurando caminhos alternativos para a identificação de problemas e proposta de soluções. Para tanto, a simulação de cenários tem se mostrado como uma alternativa viável frente à indisponibilidade de dados. Esta seção apresenta como a simulação de cenários pode contribuir para a coleta de dados e para os estudos de processos de decisão em situações de emergências.

2.1. Simulação de Emergências: “Desktop Games”

Exercícios vêm se popularizando para o treinamento de pessoal e organizações no gerenciamento de emergências. Muitos são os exemplos encontrados para o treinamento militar e policial. De forma geral, situações de combate e/ou administração de eventos públicos são simuladas a fim de possibilitar a vivência de situações reais. Porém, os custos associados ao desenvolvimento de cenários bem como a necessidade do envolvimento direto de diversas organizações, durante o planejamento, acabam por gerar altos custos operacionais, os quais podem eventualmente tornar a metodologia inviável economicamente. Neste contexto, o uso de simulações vem se difundindo no ambiente acadêmico e prático em razão de uma série de razões, tais como: i) baixos custos de planejamento, desenvolvimento e implementação; ii) possibilidade de treinamento individual ou em grupo; iii) coleta de dados estruturada; iv) confiabilidade científica; v) fácil inserção de componentes extras, como por exemplo, diferentes clusters de organizações ou cenários específicos.

Neste sentido, uma simulação para organizações rodoviárias foi desenvolvida após a observação de uma série de exercícios relatados por Giovinazzi *et al.* (2008) e Dantas *et al.* (2010). O modelo foi concebido focando-se na análise da distribuição de recursos em rede de transportes a qual sofreu devastadores efeitos após um terremoto (Figura 1). Durante a simulação, os recursos disponíveis devem ser alocados no sistema viário de acordo com prioridades previamente definidas pelo decisor (ou participante). Para tanto, uma matriz de pesos multi-critério é fornecida ao participante, que deve então preencher cada uma das células vazias com o peso relativo de seus objetivos (Tabela 1). Em seguida, cinco dias após o evento inicial são simulados, disponibilizando ao participante uma série de informações para cada dia de resposta.

Pesos definidos na Matriz de Importâncias e recursos alocados no sistema viário ilustrado na Figura 1 são observados durante a simulação. Estes dados são processados e analisados de forma a gerar informação sobre o processo de decisão utilizado pelos participantes. A análise segue paradigmas dados pelo processo de decisão naturalístico, o qual considera que decisões são tomadas a partir da utilização de experiências prévias (memória), resultados alcançados anteriormente e capacidade de improvisação. Por fim, o processo de alocação de recursos é estudado através do cruzamento entre as prioridades definidas pelos participantes e possíveis consequências associadas ao padrão de alocação de recursos na rede de transportes.

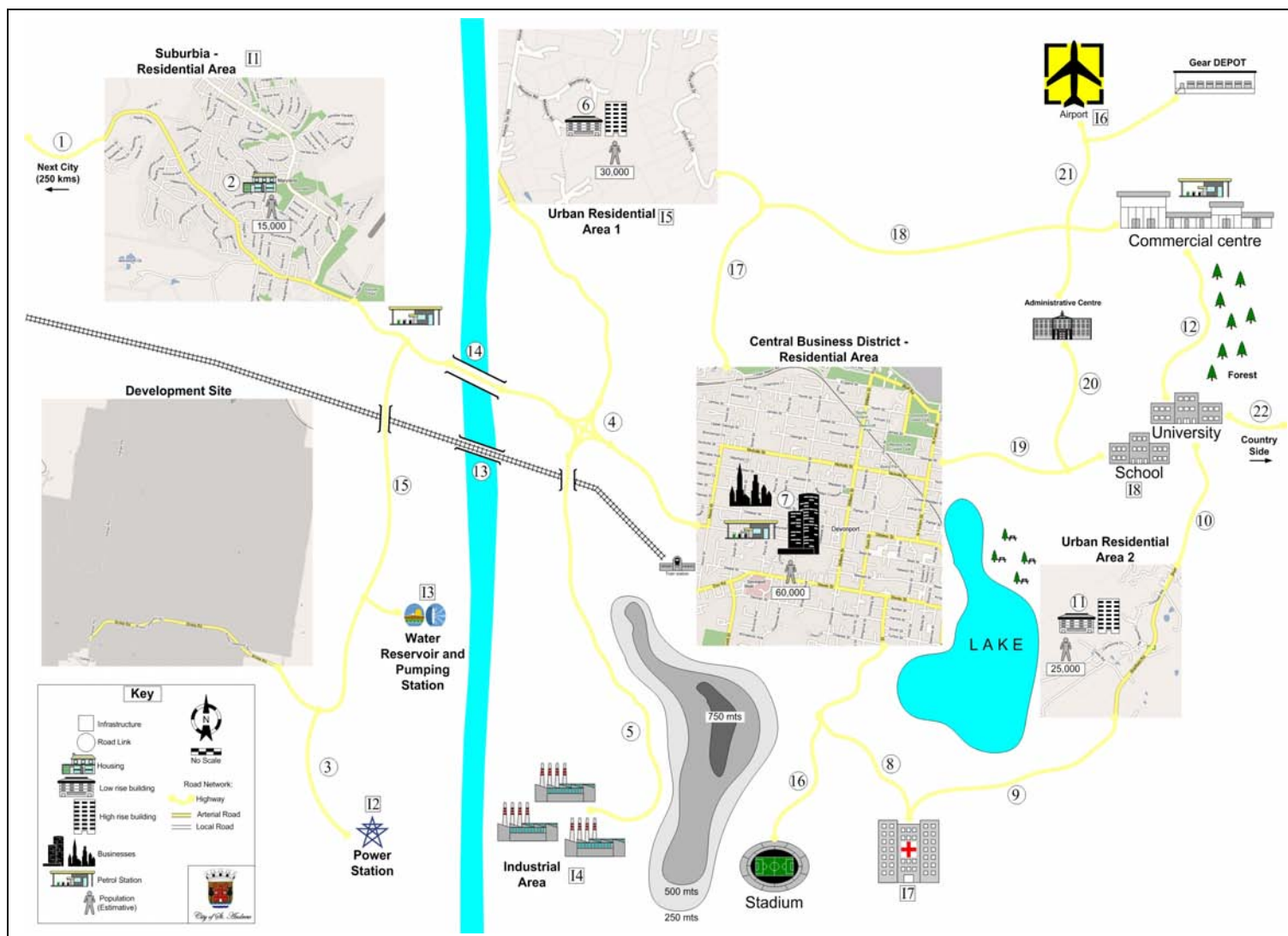


Figura 1: Região e rede de transportes afetadas pelo terremoto (Tabuleiro de simulação).

Tabela 1: Matriz de Importâncias.

Items "i" \ Items "j"	Busca e Salvamento	Proteção à propriedade privada	Suporte à infra-estrutura crítica	Proteção à economia	Proteção ao meio ambiente	Possibilitar suporte de áreas externas	Reparo de infra-estruturas críticas	Assegurar acessibilidade entre comunidades
Busca e Salvamento	1	-	-	-	-	-	-	-
Proteção à propriedade privada		1	-	-	-	-	-	-
Suporte à infra-estrutura crítica			1	-	-	-	-	-
Proteção à economia				1	-	-	-	-
Proteção ao meio ambiente					1	-	-	-
Possibilitar suporte de áreas externas						1	-	-
Reparo de infra-estruturas críticas							1	-
Assegurar acessibilidade entre comunidades								1

Escala a ser usada

Item apresentado nas linhas é de igual ou maior importância do que item apresentado em colunas.

1: Items "i" e "j" são de igual importância
3: Item "i" é pouco mais importante (ou melhor) que item "j".
5: Item "i" é mais importante (ou melhor) que item "j".
7: Item "i" é muito mais importante (ou melhor) que item "j".
9: Item "i" é absolutamente mais importante (ou melhor) que item "j".
2, 4, 6 and 8: são valores intermediários.

Item apresentado nas colunas é de igual ou maior importância do que item apresentado em linhas.

1: Items "j" e "i" são de igual importância
1/3: Item "j" é pouco mais importante (ou melhor) que item "i".
1/5: Item "j" é mais importante (ou melhor) que item "i".
1/7: Item "j" é muito mais importante (ou melhor) que item "i".
1/9: Item "j" é absolutamente mais importante (ou melhor) que item "i".
1/2, 1/4, 1/6 and 1/8: são valores intermediários.

2.2. Simulações de cenários

Uma série de simulações foi conduzida nas cidades de Christchurch e Wellington na Nova Zelândia, País onde o uso de cenários é prática comum entre órgãos públicos e empresas privadas. Doze participantes de diferentes empresas e instituições de ensino fizeram parte deste estudo de caso.

Adotando-se o método de análise proposto e examinado por Ferreira *et al.* (2010), observou-se, em sua grande maioria, que os participantes seguiram as prioridades definidas quando do preenchimento da Matriz de Importâncias (Figura 2). Os indicadores de prioridade foram calculados por meio de auto-vetores assim como os pesos multi-criteriais avaliados de acordo com uma medida de consistência proposta por Saaty (1996). Tal procedimento assegurou a verificação da qualidade dos dados coletados pela Matriz de Importância e a correta estimativa das prioridades para os oito objetivos definidos para a simulação.

Dessa forma, a proporção de recursos contribuindo para cada um dos objetivos foi estimada de acordo com um sistema de pesos definido para a simulação e rede de transportes, ilustrada na Figura 1. Detalhes específicos dessa metodologia podem ser encontrados em Ferreira *et al.* (2010). De forma resumida, para cada trecho rodoviário da rede de transportes foi definido um peso para os oito objetivos. Dessa forma, considera-se que cada seção da rede contribua de forma distinta para a resposta. Tal proposta alia-se ao fato de que redes de transportes oferecem diferentes serviços a diferentes usuários (por exemplo, viagens a trabalho, entretenimento, esporte, compras e etc). Em situações de emergência, pesquisas indicam o

caráter múltiplo de redes de transporte e suas relações com serviços de emergência e organizações envolvidas (AELG, 2005).

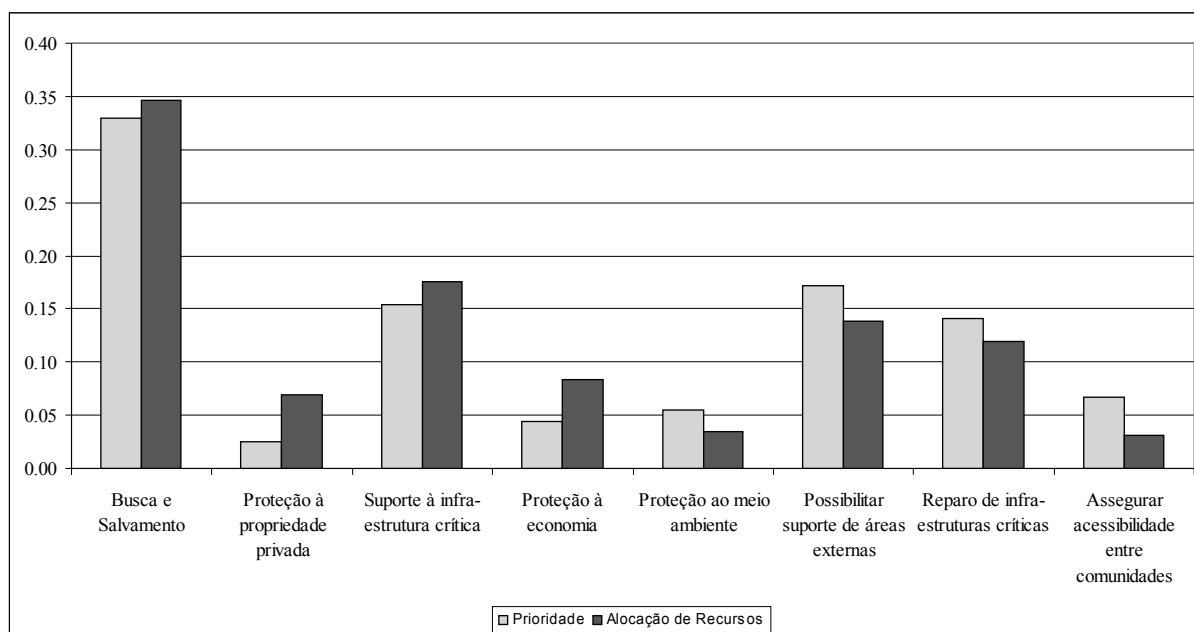


Figura 2: Prioridades e Alocação de Recursos.

Observe na Figura 2 a equivalência entre prioridades e alocação de recursos. É possível concluir que de forma cognitiva a distribuição de recursos segue padrões definidos quando da priorização da resposta. Note que os pesos de cada trecho rodoviário não foram fornecidos aos participantes. Logo, comprova-se que o processo de decisão em emergências, segue paradigmas definidos pelo modelo naturalístico, os quais indicam que alocação de recursos, ocorre de acordo com a estimativa de suas conseqüências, no âmbito geral da resposta planejada. Assim, foi observado que as experiências passadas (memórias) e treinamento são fatores fundamentais em processos decisivos. O modelo naturalístico ainda retrata o uso da capacidade de improvisação, quando memórias/experiências não satisfazem as necessidades do decisor.

Logo, pode-se concluir que decisões em situações de emergências, no contexto de alocação de recursos em redes de transportes, são realizadas de acordo com um rol de prioridades as quais se relacionam de forma integrada com o gerenciamento de desastres. O modelo de decisão naturalístico retrata de forma compreensiva, o processo descrito anteriormente, e aponta para a necessidade de ferramentas simples para o suporte à decisão dado o complexo processo cognitivo da tomada de decisão durante emergências. Neste sentido, a próxima seção propõe um modelo de estimativa de custos de alocação de recursos, de forma a oferecer suporte ao decisor no gerenciamento de desastres.

3. MODELO DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS EM REDES DE TRANSPORTES

De forma complementar às conclusões apresentadas na seção anterior, propõe-se um modelo de alocação de recursos para facilitar a decisão em situações de emergências. Considerando-se que processos de decisão naturalístico são complexos em sua natureza, o modelo proposto

conta com diferentes graus de abstração a fim de representar custos envolvidos no processo de decisão durante emergências. Tal proposta auxilia na análise de dados e geração de informação de fácil interpretação para o suporte na tomada de decisão na alocação de recursos.

3.1. “Rapid Resource Allocation Model” (RAM)

A baixa exigência de dados e rápido processamento computacional foram dois fatores primordiais considerados quando da proposta do modelo RAM. Modelos detalhados já foram desenvolvidos por diversos autores como relatado na seção introdutória. Porém, em sua grande maioria, estes modelos demandam uma grande quantidade de dados e requerem longo processamento computacional. No âmbito da gerência de emergências, observa-se a carência de dados, bem como dificuldade de coleta, e limitações de recursos e tempo para seu processamento. Assim, o modelo foi proposto de acordo com a definição de dois componentes básicos (custos) descritos a seguir.

3.1.1. Custo Logístico de Resposta

Os custos logísticos de resposta representam o custo de viagem para o deslocamento de recursos e os custos de carregamento e descarregamento de material. O custo de viagem é diretamente proporcional ao volume de recursos alocado (r_{ij}^t) e a distância entre respectivas origens e destinos. Já o custo de carregamento e descarregamento é função do volume de recursos alocado a ser transportado. O Custo Logístico de Resposta (LRC) para qualquer tempo t é dado pela Equação 1.

$$LRC^t = \sum_i \sum_j (r_{ij}^t * (td_{ij} * \alpha + 2LC * \beta)) \quad (1)$$

$$\text{Dado: } td_{ij} = \sum_{a \in Pt_{ij}} L_i^a$$

em que LRC^t : Custo Logístico de Resposta

r_{ij}^t : quantidade de recursos alocados da origem i para o destino j no tempo t

td_{ij} : distância entre origem i e destino j

α : custo unitário de viagem

LC : custos logísticos – tempo para carregamento e descarregamento

β : custo unitário de carregamento / descarregamento

Pt_{ij} : caminho mínimo (ou prioritário) entre origem i e destino j

L_i^a : comprimento dos trechos rodoviários pertencentes ao caminho mínimo Pt_{ij}

3.1.2. Custos de Atraso de Veículos

Os custos de atraso de veículos representam prejuízos gerados por danos a infra-estrutura viária e consequentemente atrasos a veículos. Tais prejuízos são contabilizados pelo custo de reparo (ou reconstrução) da infra-estrutura mais o custo associado ao atraso de veículos em razão da redução total ou parcial da capacidade viária. A Equação 2 generaliza o Custo de Atraso de Veículos (DRC). Observe que o custo de reparo é fixo e determinado pelo modelador de acordo com o tipo de infra-estrutura e dano sofrido. Em contrapartida, o custo de atraso é indiretamente proporcional ao reparo da infraestrutura, isto é, quanto mais ágil e dinâmica a resposta menores o atraso. O fator δ_{jk}^t é proposto de forma a estabelecer a relação entre objetivos e a configuração física do sistema viário. Assim, quanto maior a relação entre um determinado trecho rodoviário e as prioridades de resposta, maior importância terá o trecho na resposta.

$$DRC^t(R^t) = \sum_j RC_l + \sum_j (F_l - C_l \cdot (1 - D_j^t)) \cdot \theta \cdot \frac{1}{\sum_j \sum_k \delta_{jk}^t} \quad (2)$$

em que DRC^t : Custos de Atraso de Veículos para o trecho l no tempo t

RC_l : custo fixo de reparo (ou reconstrução) do trecho l

F_l : fluxo de veículos no trecho l

C_l : capacidade viária do trecho l

D_j^t : dano no destino j no tempo t (infra-estrutura viária afetada)

θ : custo unitário de atraso por veículo

δ_{jk}^t : fator de prioridade para trechos j e objetivo k no tempo t

3.1.3. Custos Totais e Processo de Otimização

Dados os dois componentes básicos de custos descritos anteriormente, o custo total é descrito pela simples somatória de custos logísticos e atraso para todos os tempos t como a seguir.

$$TRC = \sum_t LRC^t + \sum_t DRC^t \quad (3)$$

em que TRC : Custos totais

LRC^t : Custo Logístico de Resposta

DRC^t : Custos de Atraso de Veículos

Neste âmbito, considera-se que uma organização envolvida em resposta a emergências irá otimizar a alocação de recursos. Para tanto, o volume total de recursos R^t disponíveis em origens i ($R_1^t, R_2^t, R_3^t, \dots, R_i^t \dots R_n^t$) é alocado para infraestruturas j de acordo com os danos sofridos no sistema viário ($D_1^t, D_2^t, D_3^t, \dots, D_j^t \dots D_m^t$) dadas as prioridades estabelecidas para cada um dos objetivos, representados por $P_1^t, P_2^t, P_3^t, \dots, P_k^t$. Finalmente, a decisão de alocação de recursos de origens i para destinos j (r_{ij}^t) será realizada de forma a melhor prover suporte às atividades que dependem do sistema de transporte durante a resposta à emergência.

A seguinte formulação (Equação 4), bem como suas considerações, representam o processo de otimização de alocação de recursos, o qual organizações objetivam alcançar durante a gerência de emergências.

$$\min(\sum_t TRC^t) = \min(\sum_t (LRC^t + DRC^t))$$

$$\min(\sum_t ((\sum_i \sum_j (r_{ij}^t (td_{ij} \cdot \alpha + 2LC \cdot \beta)))^t + [\sum_j RC_l + \sum_j (\frac{F_l - C_l \cdot (1 - D_j^t)) \cdot \theta}{\sum_j \sum_k \delta_{jk}^t}])^t)) \quad (4)$$

Sujeito à:

$$\sum_i \sum_j r_{ij}^t = R^t$$

$$td_{ij} = \sum_{a \in P_n} L_l^a$$

$$\sum_k P_k^t = 100$$

Somatória de recursos alocados no tempo t das origens i à destinos j deve ser igual ao volume total de recursos disponíveis R^t .

Distância entre origem i e destino j considerada a soma do comprimento dos trechos (L_l) pertencentes ao caminho mínimo P_n .

Soma das prioridades dos k objetivos para o tempo t deve ser igual a 100 (ou 100%).

3.2. Avaliação do Modelo RAM

Um cenário (emergência) e respectivo impactos (ou danos) em uma rede de transportes com 17 links foi definido de forma a possibilitar a avaliação do modelo proposto na subseção 3.1.3. A Figura 3a ilustra a rede de transporte e os impactos sofridos devido ao evento, enquanto a Figura 3b apresenta dados específicos da rede de transportes (capacidade viária, fluxo e custo fixo de reparo). Uma completa descrição do cenário pode ser encontrada em Dantas e Ferreira (2010).

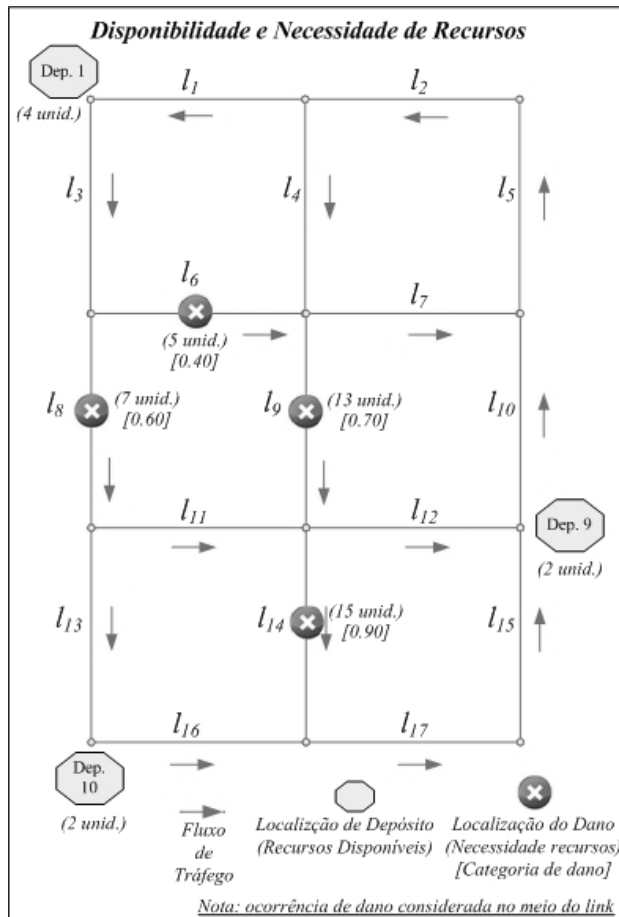


Figura 3a

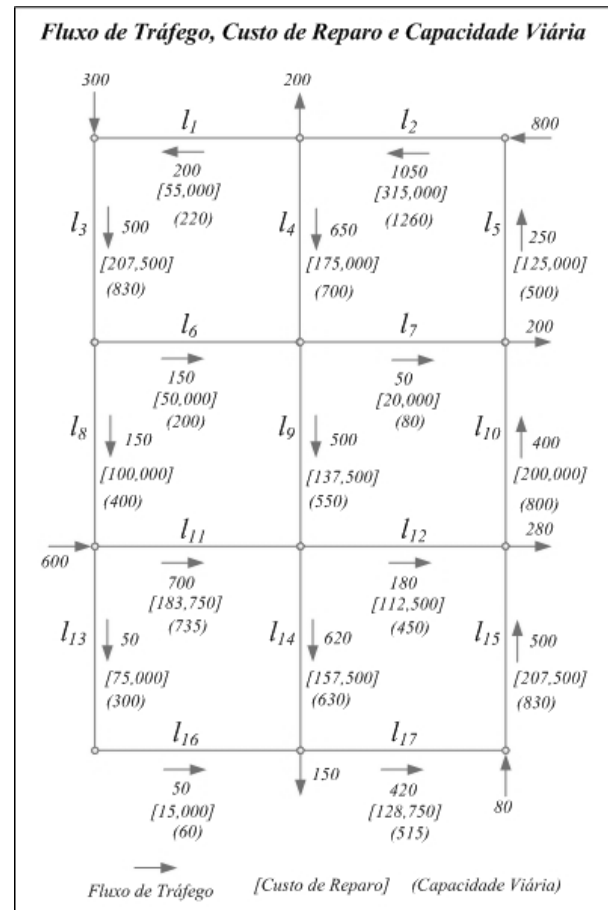


Figura 3b

Figura 3: Rede de transportes e características do evento simulado.

O processo de otimização proposto foi implementado computacionalmente utilizando-se os custos de alocação de recursos descritos na Tabela 2. Dentre mais de 2.900 possibilidades de alocação de recursos no cenário proposto, o procedimento foi capaz de identificar uma série de estratégias com custos ótimos tanto para procedimentos logísticos como para atraso de veículos.

Tabela 2: Custos de alocação de recursos.

α – Custo de Transporte (\$ / km)	10.00
β – Custo Logístico (Carregamento / Descarregamento) (\$ / unidade)	15.00
θ - Custo de atraso (\$ / veh)	4,000
LC – Tempo de Carregamento / Descarregamento (hs)	2.00

Dezesseis estratégias foram inicialmente selecionadas para uma análise mais detalhada. O processo de implementação contou com a formulação de planilhas simples, o que representa a facilidade e efetividade de processamento da metodologia proposta. Neste sentido, nenhuma ferramenta específica ou linguagem de programação foi necessária para que o método fosse aplicado. Como apresentado na Tabela 3, conclui-se que estratégias distintas de alocação alcançaram resultados finais similares. Neste sentido, três classes foram definidas de forma a melhor representar os resultados obtidos. Note que o custo de atraso é igual para todas as estratégias no tempo $t = 1$ dada que nenhuma atividade para a restauração da capacidade viária é realizada devido ao tempo de viagem entre a origem e o destino final dos recursos alocados.

Tabela 3: Resultados da otimização.

Classe	Estratégia	ΣLRC	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 4$	$t = 5$	$t = 6$
			ΣDRC	ΣDRC	ΣDRC	ΣDRC	ΣDRC	ΣDRC
A	5	3435.00	463253.79	11049.50	5884.40	2083.17	0.00	0.00
	13	3255.00	463253.79	11049.50	5884.40	2083.17	0.00	0.00
	14	3285.00	463253.79	11049.50	5884.40	2083.17	0.00	0.00
	21	3405.00	463253.79	11049.50	5884.40	2083.17	0.00	0.00
	22	3405.00	463253.79	11049.50	5884.40	2083.17	0.00	0.00
	23	3420.00	463253.79	11049.50	5884.40	2083.17	0.00	0.00
B	4	3330.00	463253.79	11185.91	6118.24	2627.88	1034.00	0.00
C	10	3105.00	463253.79	11495.90	6964.40	3457.72	1034.00	0.00
	11	3135.00	463253.79	11495.90	6964.40	3457.72	1034.00	0.00
	19	3255.00	463253.79	11679.50	6964.40	3457.72	1034.00	0.00
	20	3285.00	463253.79	11679.50	6964.40	3457.72	1034.00	0.00
	25	3120.00	463253.79	11495.89	6964.39	3457.71	1034.00	0.00
	27	3105.00	463253.79	11679.50	6964.39	3457.71	1034.00	0.00
	28	3135.00	463253.79	11679.50	6964.39	3457.71	1034.00	0.00
	29	3270.00	463253.79	11679.50	6964.39	3457.71	1034.00	0.00
	30	3120.00	463253.79	11679.50	6964.39	3457.71	1034.00	0.00

Os resultados apresentados na Tabela 3 apontam para a aplicabilidade prática do método no contexto de gerenciamento de emergências. De simples implementação e pouca demanda de dados, diferentes estratégias foram identificadas no sentido de otimização de alocação de recursos para a redução dos custos sociais e econômicos associados ao evento. Adicionalmente, o modelo segue paradigmas traçados pela teoria de suporte à decisão visto que diferentes estratégias são apresentadas ao decisor responsável pela alocação de recursos. Nesse sentido, alternativas são disponibilizadas ao decisor impedindo que o processo se automatize bem como viabilizando com que a natureza dinâmica de desastres seja contemplada no processo de decisão.

Em resumo, a proposta de otimização e modelagem de custos apresentada demonstra potencial para o suporte à decisão em situações de emergências. Sua fácil aplicação e implantação são ressaltadas no estudo de caso apresentado anteriormente. A flexibilidade na possibilidade de alocação de recursos indicada pela proposta de diferentes estratégias o que fornece informação extra ao decisor que pode se tornar fundamental no processo de decisão e/ou improvisação. Por fim, limitações tais como, necessidade de definição mais específica de custos, definição de alocação de recursos de forma dinâmica e etc devem ser considerados em trabalhos futuros.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho apresenta uma proposta de modelagem de custos para o suporte à decisão em situações de emergências. O caso específico de redes de transportes foi definido como forma de delimitar o escopo conceitual do tema abordado. Utilizando-se de simulações e conceitos logísticos, o modelo RAM foi proposto e posteriormente avaliado em seus potenciais e limitações para o suporte a decisão em situações de emergência.

Inicialmente, destaca-se a utilização de um método de pesquisa dinâmico no qual desenvolvimento e estudos de caso são conduzidos de forma paralela a fim de se propor modelos de cunho prático. Assim, o método se provou eficiente no estudo de problemas de gerenciamento de emergências no contexto de transportes tendo como objetivo principal a proposta pioneira de desenvolvimento de conhecimento aliando-se prática e teoria.

No contexto de estudos em logística, o modelo indicou a possibilidades de aplicação da modelagem de custos como ferramenta de suporte à decisão em situações de emergência. Apesar do cenário proposto no estudo de caso ser simplístico, observou-se que o modelo foi capaz de identificar três classes de alocação de recursos de forma a otimizar a resposta. Vale ainda ressaltar que dentre mais de 2.900 possibilidades de alocação de recursos o modelo selecionou 16 estratégias para a alocação ótima de recursos no cenário em análise. Neste sentido, conclui-se que o modelo será ainda de maior valia em situações reais as quais são mais complexas e portanto exigem muito mais informação e dinamicidade dos decisores. Entretanto, ressalta-se que o modelo é válido para o caso da recuperação do sistema viário bem como recursos (equipamentos, pessoal etc) não são especificados dado o recente desenvolvimento de pesquisas nessa área.

Como vantagens do modelo RAM ressalta-se sua pouca exigência por dados e facilidade de processamento. Tal fato favorece sua utilização frente às inúmeras propostas já apresentadas anteriormente, as quais implicam em alta demanda de dados e difícil implantação. Suas limitações tangem na definição superficial de custos (ambos os custos logísticos e de atraso de veículos) e pobre representação das relações entre sistema viário e prioridades de resposta. Assim, recomenda-se em trabalhos futuros estudos das relações entre as redes de transportes e as necessidades de organizações envolvidas no gerenciamento de emergências, bem como pesquisa para o desenvolvimento de um sistema computacional de simulação para a melhor avaliação da capacidade de suporte à decisão oferecida pelo modelo.

Agradecimentos

Os autores são gratos ao fundo de pesquisa oferecido pelo *Foundation of Research Science and Technology* e aos inúmeros colaboradores do *Resilient Organisations Research Programme* bem como a todos os profissionais que se voluntariaram para as pesquisas conduzidas na Nova Zelândia entre os anos de 2007 e 2010.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AELG – Auckland Engineering Lifeline Group (2005). Resources Available for Response and Recovery of Lifeline Utilities. Technical Publication No. 282 (Version 1.0). ISBN: 1-877416-02-9. Auckland Regional Council, Auckland, New Zealand.
- Asakura, Y. (2004). Risk Assessment for Hazards Materials Transportation in a Road Network. Proceedings of the 2nd International Symposium on Transport Network Reliability. Christchurch and Queenstown, New Zealand, 20-24 August 2004. ISBN 0-476-00858-1.
- Cherrie W.W. Ng and Dickson K.W. C. (2006). E-Government Integration with Web Services and Alerts: A Case Study on an Emergency Route Advisory System in Hong Kong. Proceedings of the 39th Hawaii International Conference on System Sciences. Kauai, Hawaii.
- Dalziel, E. P., McManus, S. T. (2004). Resilience, Vulnerability and Adaptive Capacity: Implications for Systems Performance. International Forum for Engineering Decision Making (IFED); Switzerland. December 2004.

- Dantas, A. Ferreira, F. (2010). Prioritisation and Deployment of Physical and Human Resources During Disasters. Proceedings of T-LOG Conference 2010. September 6 – 8, Fukuoka, Japan.
- Dantas, A. Giovinazzi, S. Ferreira, F. Seville, E. (2010). A Diagnosis of State Highway Organisations' Decision-Making during Extreme Emergency Events. Resilient Organisations Research Report 2010/02. <http://www.resorgs.org.nz/pubs.shtml#ResOrgsResearchReports>.
- Ferreira, F. Dantas, A. Seville, E. Giovinazzi, S. (2010). Towards an Alternative Approach for Roothing Organizations Emergency Management Training and Research: Exercises Observation and Game-Based Scenario Simulation. 89th TRB Annual Meeting: Investing in Our Transportation Future – BOLD Ideas to Meet BIG Challenges. Washington, D.C., January 10-14, 2010.
- Fu, L. Sun, D. Rilett, L. R. (2006). Heuristic shortest path algorithms for transportation applications: state of the art. Computers and Operations Research, Volume 33, Issue 11. ISSN.: 0305-0548. Elsevier Science Ltd.
- Fu, H. Wilmot, C. Zhang, H. (2007). Modelling the Hurricane Evacuation Response Curve. 86th TRB Annual Meeting. Compendium of Papers CDROM. January 21-25, 2007. Washington, D.C. United States of America.
- Giovinazzi, S. Ferreira, F. Dantas, A. Seville, E. (2008). Enhancing the reconstruction process for highway networks: opportunities and challenges for Decision Support Systems. 4th International i-Rec Conference 2008. "Building resilience: achieving effective post-disaster reconstruction". 30th April to 2nd May 2008, Christchurch, New Zealand.
- IFRCRC, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (2002). World Disasters Report: Focus on Reducing Risk. Bloomfield, CT, Kumarian Press.
- Kepaptsoglou, K. Karlaftis, M. G. Vlachogianni, E. (2007). Web based Decision Support for Emergency Preparedness on a Bridge Network. 86th TRB Annual Meeting. Compendium of Papers CDROM. January 21-25, 2007. Washington, D.C. United States of America.
- Liu, B. (1997). Route finding by using knowledge about the road network. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A, Volume 27, Issue 4 (p. 436-448). ISSN: 1083-4427.
- Liu, H. X. Ban, J. X. Ma, W. Mirchandani, P. B. (2006a). Model Reference Adaptive Control Framework for Real Time Traffic Management under Emergency Evacuation. Proceedings of the 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board (CD-ROM), Washington.
- Liu, Y. Lai, X. Chang, G. (2006b). A Cell-Based Network Optimization Model For Staged Evacuation Planning Under Emergencies. Proceedings of the 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board (CD-ROM), Washington, D.C.
- Mendonça, D., Beroggi, G. E. Wallace, W. A. (2001). Decision support for improvisation during emergency response operations. International Journal Emergency Management, Vol. 1, No. 1, 2001.
- Mendonça, D. Beroggi, G. E. Wallace, W. A. (2006). Assessing Group Decision Support Systems for Emergency Response Using Gaming Simulation. Safety Science 44(6) 523-535.
- Mendonça, D. Wallace, W. A. (2007). A Cognitive Model of Improvisation in Emergency Management. IEEE Systems, Man and Cybernetics: Part A, 37(4) 547 – 561.
- Moriarty, K. Ni, D. Collura, J. (2007). Modelling Traffic Flow Under Emergency Evacuation Situations: Current Practice and Future Directions. 86th TRB Annual Meeting. Compendium of Papers CDROM. January 21-25, 2007. Washington, D.C. United States of America.
- Nicholson, A. (2007). Optimising Network Terminal Reliability. 3rd International Symposium on Transport Network Reliability (Ed. H. J. Van Zuylen). The Hague, Netherlands, 19-20 July 2007.
- RESORGS - Resilient Organisations Research Programme (2001). ResOrgs Publications. <http://www.resorgs.org.nz/pubs.shtml>. Último acesso: 2 de Julho de 2011.
- Saaty, T.L. (1996). The Analytic Hierarchy Process, New York, N.Y., McGraw Hill, 1980, reprinted by RWS Publications, Pittsburgh, 1996.
- SNDC, Secretaria Nacional de Defesa Civil (2010). Defesa Civil. <http://www.defesacivil.gov.br/index.asp>. Último acesso: 15 de Junho de 2010.
- Scaruffi, P. (2008). The Worst Natural Disasters Ever. Copyright © 2001-2008 Piero Scaruffi / All rights reserved. <http://www.scaruffi.com/politics/disaster.html>. Last accessed 12 November 2008.
- Takeuchi, T. Kondo, A. (2003). Allocation Analysis for 'Earthquake Tsunami Refuge Facilities' by Maximizing Successful Passage. The 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management Conference. Tohoku University, Sendai.

Frederico Ferreira (drfred.ferreira@gmail.com / fredferreira@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

Aline Eloyse Lang (aline.lang@pg.canterbury.ac.nz / alinelang@gmail.com)

University of Canterbury, Private Bag 4800, Department of Civil and Natural Resources Engineering, Christchurch 8140, New Zealand.

Nota: autor principal está atualmente afiliado a Universidade de Kyoto, Japão.