

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS (PPGEPS)
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DANIEL DA SILVA AVANZI

**FRAMEWORK DE AVALIAÇÃO DE INTEROPERABILIDADE NA GESTÃO DE
DESASTRES**

CURITIBA

2018

DANIEL DA SILVA AVANZI

**FRAMEWORK DE AVALIAÇÃO DE INTEROPERABILIDADE NA GESTÃO DE
DESASTRES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS), da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rocha Loures

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Deschamps

CURITIBA

2018

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central
Giovanna Carolina Massaneiro dos Santos – CRB 9/1911

A946f
2018 Avanzi, Daniel da Silva
 Framework de avaliação de interoperabilidade na gestão de desastres /
 Daniel da Silva Avanzi ; orientador: Eduardo Rocha Loures ; coorientador:
 Fernando Deschamps. – 2018.
 145 f. : il. ; 30 cm

 Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná,
 Curitiba, 2018
 Inclui bibliografias.

 1. Engenharia de produção. 2. Administração de emergência. 3. Processo
 decisório. 4. Avaliação. 5. Tecnologia da informação. I. Loures, Eduardo
 Rocha. I. Deschamps, Fernando. II. Pontifícia Universidade Católica do
 Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e
 Sistemas. III. Título.

CDD 20. ed. – 670

TERMO DE APROVAÇÃO

Daniel da Silva Avanzi

FRAMEWORK DE AVALIAÇÃO DE INTEROPERABILIDADE NA GESTÃO DE DESASTRES.

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Presidente da Banca
Prof. Dr. Eduardo Rocha Loures
(Orientador)



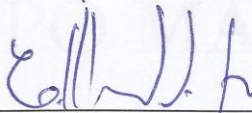
Prof. Dr. Fernando Deschamps
(Coorientador)



Prof. Dr. Eduardo Alves Portela Santos
(Membro Interno)



Dr. José Marcelo Almeida Prado Cestari
(Membro Externo)



Prof. Dr. Edilberto Nunes de Moura
(Membro Externo)

Curitiba, 11 de maio de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, já que Ele colocou pessoas tão especiais que possibilitaram a conclusão dessa importante etapa.

À minha querida esposa Aline por todo apoio e compreensão.

Aos meus pais, pelo exemplo de dignidade e perseverança, pela confiança na minha capacidade e sólida formação que proporcionou a continuidade dos estudos até a conclusão deste mestrado. Meus eternos agradecimentos.

A minha irmã, Priscila, por todo o exemplo dado durante minha formação.

A minha sogra por todo o apoio.

Aos amigos de projeto, Vanessa, Rafael e Anderson.

Ao Instituto das Cidades Inteligentes pela oportunidade, representados pelo gestor Luiz Fernando.

Aos amigos do trabalho com quem pude compartilhar os desafios, Fábio, Mayko, Alan, Kelly, Bete e Wagner.

Ao meu coorientador Professor Fernando Deschamps.

Em especial ao meu orientador, Professor Eduardo Loures, por toda a paciência, empenho e sentido prático com que sempre me orientou neste trabalho. Muito obrigado por ter me corrigido quando necessário sem nunca me desmotivar. Seu apoio foi fundamental para a conclusão do mestrado.

RESUMO

É notável o crescimento da atenção dada pelos grandes centros urbanos às ações de mobilização pública em situações imprevistas como em casos de crises e desastres naturais. Nesse sentido, o gerenciamento de desastres (GD) se torna uma dimensão de extrema importância, exigindo uma força-tarefa na tentativa de prever, mitigar ou resolver emergências. Os esforços envolvidos correspondem à uma gestão e integração de esferas públicas e privadas, envolvendo autoridades, prestadores de serviços, cidadãos, voluntários e sistemas de apoio. A fim de permitir o adequado intercâmbio de informações e coordenação das entidades envolvidas em cenário de crise - complexo nas esferas de integração, coordenação e colaboração, o cumprimento dos requisitos de interoperabilidade torna-se um fator crítico de sucesso. Um elevado nível de interoperação pode levar a um melhor desempenho das ações empreendidas. Neste sentido, com base na literatura e iniciativas mundiais relacionadas a temática, as principais preocupações e elementos (atributos) do GD são identificados a partir da perspectiva da interoperabilidade. Baseado neste conhecimento, propõe-se um framework de suporte ao ciclo de desenvolvimento de um Sistema de apoio ao Gerenciamento de Desastres (SGD) que envolve duas direções de pesquisa em desenvolvimento tratadas em escopos de mestrado distintos. Neste trabalho, o foco é dado ao componente de avaliação da interoperabilidade organizacional que caracteriza uma etapa diagnóstica baseada em métodos multicritério de apoio à tomada de decisão e análise (do inglês MCDA - Multicriteria Decision Making/Analysis). O diagnóstico suportado por tais métodos infere sobre a avaliação do potencial de interoperabilidade de uma entidade pública ou localidade, fornecendo uma análise mais ampla de suas capacidades (estratégia, processos, informação e base tecnológica) voltadas ao GD. Em acréscimo, a abordagem MCDA proposta facilita a especificação de soluções integradas interoperáveis para o setor público, através do componente diagnóstico que permite a adequação do SGD ao ambiente de sua atuação. Tal abordagem prevê a modelagem e aplicação dos métodos AHP (Analytic Hierarchy Process) e ANP (Analytic Network Process) voltados à avaliação da entidade em seu potencial de interoperação no GD, e o PROMETHEE II (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations), voltado à uma análise granular dos atributos e requisitos do GD, permitindo uma revisão e adequação da arquitetura SGD. Mecanismos de análise relacional, apoiado nos métodos QFD (Quality Function Deployment) e Dematel (Decision making trial and evaluation laboratory), permitem um conhecimento mais detalhado das influências existentes entre os requisitos envolvidos (GD e Interoperabilidade). O espaço de avaliação proporcionado pelos métodos MCDA e mecanismos relacionais constitui o DIAM (Disaster Interoperability Assessment Model). Um estudo de aplicação do DIAM é realizado em uma empresa responsável por definir e identificar todas as necessidades de Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) municipal, entregando e mantendo os serviços para todos os departamentos da prefeitura. Os resultados diagnósticos mostram as principais lacunas da entidade sob a perspectiva de interoperabilidade, permitindo a identificação de áreas-chave para a melhoria de seu desempenho no GD na esfera municipal, assim como orientando a adoção da arquitetura referencial mais coerente com as capacidades organizacionais e conduzindo a evolução em seu nível de maturidade.

Palavras-chave: gerenciamento de desastres, avaliação de interoperabilidade, métodos multicritério de apoio a decisão.

ABSTRACT

It is noticeable the growing of the attention given by the large centers to the actions of public mobilization in unforeseen situations as in cases of crises and natural disasters. In this sense, disaster management (DM) becomes a dimension of extreme importance, requiring a task force in the attempt to predict, mitigate or solve emergencies. The efforts involved correspond to the management and integration of public and private spheres, involving authorities, service providers, citizens, volunteers and support systems. In order to allow the appropriate exchange of information and coordination of the entities involved in a crisis scenario - complex in the areas of integration, coordination and collaboration, meeting the requirements for interoperability becomes a critical success factor. A high level of interoperation can lead to better performance of the actions undertaken. In this sense, based on the literature and global initiatives related to the issue, the main concerns and elements (attributes) of the DM are identified from the perspective of interoperability. Based on this knowledge, it is proposed a support framework for the development cycle of a Disaster Management to support System (DMS) involving two directions of research in development in different masters scopes. In this work, the focus is given to the component of evaluation of organizational interoperability that characterizes a diagnostic step based on multicriteria methods to support decision making and analysis (MCDA - Multicriteria Decision Making/Analysis). The diagnosis supported by such methods infers on the evaluation of the interoperability potential of a public entity or locality, providing a broader analysis of its capabilities (strategy, processes, information and technological base) directed to DM. In addition, the proposed MCDA approach facilitates the specification of integrated interoperable solutions for the public sector, through the diagnostic component that allows the adequacy of the DMS to the environment of its performance. This approach provides for the modeling and application of AHP (Analytic Hierarchy Process) and ANP (Analytic Network Process) methods for the evaluation of the entity in its potential for interoperation in DM, and the PROMETHEE II (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations) oriented to a granular analysis of the attributes and requirements of the DM, allowing a revision and adequacy of the DMS architecture. Relational analysis mechanisms, supported by the QFD (Quality Function Deployment) and Dematel (Decision making trial and evaluation laboratory) methods, allow a more detailed knowledge of the influences between the requirements involved (DM and Interoperability). The evaluation space provided by the MCDA methods and relational mechanisms constitutes the DIAM (Disaster Interoperability Assessment Model). A DIAM application study is carried out in a company responsible for defining and identifying all the needs of the Municipal Information and Communication Technology (ICT), delivering and maintaining services to all departments of the city hall. The diagnostic results show the main shortcomings of the entity from the perspective of interoperability, allowing the identification of key areas for the improvement of its performance in the DM in the municipal sphere, as well as guiding the adoption of the referential architecture more coherent with the organizational capacities and conducting the evolution in their level of maturity.

Key-words: disaster management, interoperability assessment, multi criteria decision analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Projeto ICI	11
Figura 2 – Etapas do Processo com base nos objetivos	14
Figura 3 – Esquematização das atividades	15
Figura 4 – Estratégia da Pesquisa	16
Figura 5 – Fase de Identificação	17
Figura 6 – IDEF0 (A1): Identificar Iniciativas em GD	18
Figura 7 – IDEF0 (A2): Revisão Sistemática da Literatura	19
Figura 8 – IDEF0 (A3): Validar Atributos	19
Figura 9 – IDEF0 (A4): Organizar Atributos.....	20
Figura 10 – IDEF0: Organização.....	20
Figura 11 – IDEF0 (A5): Classificar Atributos.....	21
Figura 12 – IDEF0 (A6): Aplicar QFD.....	21
Figura 13 – IDEF0 (A7): Definir Framework de Interoperabilidade.....	22
Figura 14 – IDEF0 (A8): Construir IRM	22
Figura 15 – IDEF0: DIAM AHP.....	23
Figura 16 – IDEF0: DIAM Dematel.....	24
Figura 17 – IDEF0: DIAM ANP.....	25
Figura 18 – IDEF0: Diagnóstico	25
Figura 19 – DIAM PROMETHEE.....	26
Figura 20 – Validar Arquitetura.....	26
Figura 21 – Posicionamento.....	27
Figura 22 – Trabalhos por classificação temporal	30
Figura 23 – Trabalhos por classificação de Afiliação	30
Figura 24 – Trabalhos por classificação de Autores.....	31
Figura 25 – Trabalhos por classificação de Países	31
Figura 26 – Trabalhos por classificação de Área e Tipo de Publicação	32
Figura 27 – Percentual de Aprovação/Reprovação.....	34
Figura 28 – Processo de tomada de decisão	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Questão e Objetivo Principal e Secundários de Pesquisa	12
Quadro 2 – Testes para identificação de consulta Inicial	28
Quadro 3 – String abrangente de busca (Scopus e Science Direct)	29
Quadro 4 – Filtros aplicados nos termos de busca.	33
Quadro 5 – Principais autores selecionados.	34
Quadro 6 – Ciclo de Gerenciamento de Desastres	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
ANP	Analytic Network Process
DIAM	Disaster Interoperability Assessment Model
DM	Disaster Management
DMIS	Disaster Management Interoperability System
DMS	Disaster Management System
DRMS	Disaster Response Management System
EIA	Enterprise Interoperability Assessment
EIF	Enterprise Interoperability Framework
FR	Functional Requirements
FR-R	Functional Requirements Result
FR-RW	Functional Requirements Result Weak
GD	Gerenciamento de Desastres
I	Interoperability
ICI	Instituto das Cidades Inteligentes
ICT	Information and Communication Technology
IDEF	Integrated Definition Methods
IF	Interoperability Framework
IRM	Interoperability Relational Matrix
MCDA	Multi criteria decision analysis
MCDM	Multi criteria decision making
NFR	Non functional Requirements
PROMETHEE	Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations
PPGEPS	Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e de Sistemas
PUCPR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
QFD	Quality Function Deployment
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SADT	Structured Analysis and Design Technique
SGD	Sistema de apoio ao Gerenciamento de Desastres
SMD	Sistema de Medição de Desempenho
SysML	Systems Modeling Language
TRIP	Transport Research & Innovation Portal

TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação
TS	Technical Solution
TS-F	Filtered Technical Solution
TS-P	Prioritization Technical Solution

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	8
1.2	PROBLEMATIZAÇÃO	9
1.3	ESCOPO DO PROJETO	10
1.4	OBJETIVOS.....	11
1.5	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	12
2	ESTRATÉGIA DA PESQUISA.....	14
2.1	FASE DE IDENTIFICAÇÃO.....	17
2.1.1	Identificar Iniciativas em Gestão de Desastre.....	18
2.1.2	Processo de RSL (Revisão Sistemática da Literatura)	18
2.1.3	Validação de atributos	19
2.1.4	Definição da base de atributos	20
2.2	FASE DE ORGANIZAÇÃO	20
2.3	FASE DE CONCEPÇÃO DO MODELO E APLICAÇÃO.....	22
2.4	POSICIONAMENTO DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA COM ARTIGOS GERADOS	26
3	BASE INSTRUMENTAL	28
3.1	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	28
3.2	BASE CONCEITUAL	35
3.2.1	Desastre	35
3.2.2	MCDM.....	37
4	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS.....	43
	APÊNDICE A – ARTIGO ISERC	45
	APÊNDICE B – ARTIGO ISPE (VERSÃO EXTENDIDA)	53
	APÊNDICE C – ARTIGO FINAL.....	74
	APÊNDICE D – ATRIBUTOS	105
	ANEXO A – PIBIC	114

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Independentemente da sua natureza, o desastre¹ é considerado uma situação anormal, geralmente resultante de uma instabilidade que impacta uma parte da sociedade com fortes consequências. Essa situação pode surgir em diferentes contextos - político, militar, econômico, humanitário, social, tecnológico, ambiental ou de saúde. Ultimamente é notório que as autoridades buscam cada vez mais soluções para melhorar a gestão dos desastres, sendo parte desse crescimento caracterizado ao aumento da participação do cidadão. Através do uso da tecnologia, as pessoas são mais colaborativas nesses cenários e exigem mais transparência, monitorando de perto as medidas tomadas pelos responsáveis (Barthe-Delanoë et al., 2012; Yang et al., 2015).

Assim, o gerenciamento de desastres está se tornando cada vez mais relevante, envolvendo a participação de várias entidades que trabalham em conjunto num ciclo de ação baseado em quatro fases principais: mitigação, preparação, resposta e recuperação (Atlay e Green, 2006). Dentre as fases mencionadas – detalhadas posteriormente, a etapa de resposta tem um leve destaque no presente trabalho, uma vez que representa o período de ocorrência do desastre. Assim, muitos estudos focam no planejamento de ações a serem tomadas nessa fase, que melhoram o desempenho das ações tomadas no referido momento. A eficiência na gestão de um desastre é medida pela rapidez e precisão com que as informações são gerenciadas e trocadas entre parceiros, que são as organizações, pessoas e dispositivos envolvidos na colaboração. Dessa forma, segundo Barthe-Delanoë et al. (2012), o gerenciamento de desastres bem-sucedido exige a plena integração de todos os envolvidos, essencialmente nas ações de resposta.

Ainda de acordo com Barthe-Delanoë et al. (2012), a comunicação colabora para que todos os envolvidos trabalhem juntos e em sincronia, melhorando o desempenho da área de atuação. No intuito de permitir a troca de informações e ações conjuntas dos envolvidos, os conceitos de interoperabilidade e o atendimento de seus requisitos melhoram o desempenho das ações tomadas em um meio de atuação, em especial no cenário de gerenciamento de desastres.

A interoperabilidade é definida por EIF (2006) como um conceito amplo que abrange a capacidade das organizações para trabalhar em conjunto em busca de objetivos comuns e mutuamente benéficos. Tal conceito permite uma avaliação dos principais atributos das

¹ Taxonomia associada - Emergência é uma situação (geralmente de pequena escala) que requer atenção imediata. Desastre é como uma emergência, só que de maior amplitude; é um grande evento que causa grande danos para uma empresa, uma cidade, ou mesmo uma grande região. Crise é um evento pode levar a uma situação perigosa, independente do grau de abrangência.

entidades participantes em um mesmo domínio, resultando na real capacidade de comunicação entre elas. Estes atributos – também definidos como requisitos do domínio, são características que representam um determinado contexto e implicam na qualificação da capacidade de interoperação da estrutura avaliada. Em uma perspectiva contrária ao potencial de interoperabilidade caracterizam-se as suas *barreiras*, classificadas em: conceituais, tecnológicas e organizacionais (Guédria et al., 2011).

Com base na literatura e iniciativas (principais ações e projetos encontrados em execução pelo mundo), é possível levantar aspectos no gerenciamento de desastres que devem ser avaliados através de métodos específicos sob a ótica da interoperabilidade. O mapeamento dos requisitos em gerenciamento de desastres, perante os conceitos da interoperabilidade, possibilita atingir resultados que corroboram com a melhoria do setor uma vez que as avaliações propostas podem melhor contribuir com a identificação e mitigação de lacunas que venham a interferir no gerenciamento de desastres.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

Grande parte das entidades que atuam em problemas causados por desastres tem seus esforços realizados com uma visão isolada. Seus processos criados não consideram os demais participantes do mesmo domínio de atuação, baseados apenas em fundamentos genéricos para atribuir tarefas que são de sua responsabilidade. Esse pensamento individual traz complicações no controle de desastres, principalmente na sobrecarga de atividades nas entidades que são especialistas em certos tipos de problemas (Barthe-Delanoë et al., 2012; Yang et al., 2015).

O comportamento sob uma visão isolada pode ser percebido, por exemplo, nas atividades de duas entidades primordiais em nosso sistema de prevenção e recuperação: polícia e bombeiros. Nesse caso, as atribuições podem sobrecarregar uma certa entidade de acordo com o problema encontrado, atribuindo tarefas apenas para uma delas. O cenário ideal seria atribuir tarefas a todos os envolvidos, com o gerenciamento integrado dos participantes. Dessa forma surge a necessidade de identificar as lacunas presentes em cada entidade para uma contribuição mais eficiente em uma situação de desastre. A necessidade de avaliar e posicionar as entidades dentro de um ambiente com vários participantes se torna uma tarefa com grande relevância.

Apesar de muitas entidades atuantes no setor de gerenciamento de desastres apresentarem seus processos bem definidos, muitas delas não contribuem no mesmo nível que consideram sua capacidade de atuação. Isso porque em uma situação de desastre, não é o bastante uma entidade realizar perfeitamente suas funções apenas com ações individuais, mas necessita também atuar com pensamento colaborativo. Em um ambiente em que o

principal objetivo é executar planos para controle de desastres, todos os envolvidos devem estar cientes sobre as ações e participações dos colaboradores.

Somente com elevado nível de comunicação entre os participantes é possível atingir um alto nível de eficiência quando se trata de vários atuantes em um objetivo comum. A maior dificuldade dessa atuação conjunta está na identificação dos principais pontos que podem contribuir com a comunicação entre os envolvidos, e consequentemente, com o aumento da eficiência na solução dos problemas.

Além das questões humanas, outras dimensões também devem ser consideradas para promover a interoperabilidade. Os fatores que envolvem os sistemas de informação, colaboram significativamente para integrar as entidades, principalmente na conciliação de processos e provimento de uma base de conhecimento única para os envolvidos. Quando tais processos, tecnologias e conhecimentos não são integrados, a coordenação em soluções de desastres – ou qualquer outro domínio, se torna impraticável.

1.3 ESCOPO DO PROJETO

A presente pesquisa faz parte do projeto estabelecido na parceria entre a Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR, e o Instituto das Cidades Inteligentes – ICI², por meio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas – PPGEPS. A parceria visa a criação de um ambiente colaborativo em Pesquisa e Desenvolvimento, caracterizada por um enfoque multidisciplinar em temáticas de grande relevância científica e de amplitude mundial, apoiado em um forte interesse da esfera pública e privada da Capital do Estado do Paraná. A Figura 1 mostra um resumo com as propostas e integração das pesquisas envolvidas no projeto.

O projeto consiste em dois escopos em pesquisa em mestrado (A e B) diretamente ligadas ao Instituto, somados à participação de um terceiro mestrando (Pesquisa C). A pesquisa “A” está voltada para a especificação de uma arquitetura referencial no domínio de DMS, podendo assim fornecer subsídios para o diagnóstico proposto na presente pesquisa (B). A pesquisa “B”, referente ao presente documento, tem como desígnio base a criação de um modelo diagnóstico no âmbito de gerenciamento de desastres, possibilitando a avaliação de entidades ou localidades atuantes no domínio, além de contribuir com o aprimoramento da arquitetura referencial. Vale ressaltar a participação de um projeto de iniciação científica (PIBIC)³ atuante na identificação de bases instrumentais pertinentes aos objetivos de avaliação e diagnóstico defendidos na pesquisa “B”. A pesquisa “C”, colabora com os

² Instituto das Cidades Inteligentes – é uma organização com atuação em todo o território nacional, referência em pesquisa, integração, desenvolvimento e implementação de soluções completas para a gestão pública.

³ Investigação de Métodos MCDA para Avaliação de Interoperabilidade na Gestão de Resposta a Desastres. Vanessa Aline dos Santos, Engenharia de Produção, 2016-2017.

aspectos de mobilidade utilizados no diagnóstico, sendo uma dimensão de grande relevância no gerenciamento de desastres.

Figura 1 – Projeto ICI



Fonte: O Autor

1.4 OBJETIVOS

A pesquisa visa proporcionar às organizações a oportunidade de descobrir e avaliar seus pontos fortes e fracos, facilitando a priorização de ações para melhorar seu desempenho e maturidade no gerenciamento de desastres, além de revisar a arquitetura referencial criada. Isso ocorre através da criação de um Modelo de Avaliação de Interoperabilidade em Desastres (do inglês DIAM - Disaster Interoperability Assessment Model). O modelo apoia a identificação dos potenciais de atuação da entidade/localidade avaliada de acordo com os aspectos de interoperabilidade. Em cada aplicação do modelo é possível (com os resultados de diagnóstico) melhorar a arquitetura DMS de referência.

A obtenção do diagnóstico promovido pelo DIAM permite uma avaliação granular das capacidades das entidades públicas ou privadas envolvidas em DM. Esta análise de capacidade permite a execução de uma revisão relacional mais profunda dos requisitos funcionais e técnicos da arquitetura de referência em DM. De acordo com o conceito de EIA (Enterprise Interoperability Assessment) defendidos por Guédria et al. (2009) e Cestari et al.

(2013), a avaliação das organizações torna perceptível os pontos fracos e fortes, favorecendo a priorização de ações que buscam evoluir o desempenho e maturidade. Tal definição condiz perfeitamente com o principal objetivo da pesquisa, que está voltado no contexto de ponderar o grau de interoperabilidade entre entidades auxiliando a especificação de soluções integradas para o setor público no gerenciamento de desastres.

Para isso, é necessário identificar e mapear atributos do domínio de gerenciamento de desastres, criar uma arquitetura de referência, e com as atividades de avaliação e diagnóstico reavaliar tal arquitetura. Este trabalho fornece, através de *framework* proposto, base metodológica fortemente embasada em conhecimento especialista, literatura e iniciativas, no suporte ao desenvolvimento de modelo que permita avaliar e diagnosticar entidades envolvidas no gerenciamento de desastres em coerência à arquitetura adotada. Considerando todos os aspectos almejados na pesquisa, o Quadro 1 descreve de forma única a questão e os objetivos a serem atingidos com trabalho.

Quadro 1 - Questão e Objetivo Principal e Secundários de Pesquisa

Questão de Pesquisa
Como avaliar o potencial que entidades (instituições/localidades) apresentam ao gerenciamento de desastres sob a ótica da interoperabilidade?
Objetivo Principal
Propor um modelo de avaliação para diagnóstico do potencial de gerenciamento de desastres sob a ótica da interoperabilidade baseado em métodos multicritério e suportado por framework conceitual de desenvolvimento permitindo também a revisão da arquitetura referencial criada.
Objetivos Secundários
1. Identificar as principais iniciativas relevantes ao gerenciamento de desastres;
2. Identificar o conhecimento relativo ao gerenciamento de desastres, com base nos atributos extraídos da literatura e principais iniciativas encontradas;
3. Identificar os conceitos e principais frameworks de interoperabilidade estruturando os atributos em suas perspectivas;
4. Avaliar métodos multicritérios pertinentes à avaliação diagnóstica proposta;
5. Propor um modelo de avaliação do potencial de gerenciamento de desastres de uma entidade sob a ótica da interoperabilidade;
6. Aplicar o modelo em contexto real (entidade/localidade) para estabelecimento de análise diagnóstica e revisão da arquitetura referencial.

Fonte: O Autor

1.5 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

A estrutura deste documento de dissertação compõe-se de quatro Capítulos, quatro Apêndices e um Anexo. Tais apêndices possuem a maior parte do desenvolvimento da pesquisa, uma vez que foi adotado o modelo com base em artigos. O Capítulo 1 expõe a temática de pesquisa, como contextualização, problematização, escopo do projeto e objetivos. A estratégia de pesquisa, definidas em diferentes etapas, são apresentados no Capítulo 2. O

Capítulo 3 apresenta a base instrumental da pesquisa, possibilitando um embasamento teórico para a pesquisa. O último Capítulo (4) de Conclusão da pesquisa, traz as lições aprendidas e perspectivas futuras, assim como o posicionamento do trabalho frente as projeções estipuladas.

O presente documento possui Apêndices com produções de artigos que complementam o desenvolvimento do mesmo. O primeiro (A), artigo intitulado *“Proposal of a Framework for a Disaster Management System”*, traz as informações iniciais da pesquisa relatando as propostas das Pesquisas A e B, mostradas na Figura 1. É realizado a proposta de desenvolvimento do grupo no qual o presente autor está inserido, voltando os estudos principalmente na identificação das iniciativas relacionadas. O Apêndice B contém o artigo *“A framework for interoperability assessment in crisis management”* diretamente vinculado a presente pesquisa, já com características voltadas para o tema principal e alguns resultados parciais. Este traz a proposta de um modelo de avaliação de entidades/localidades no domínio de gerenciamento de desastres frente as perspectivas da interoperabilidade, assim como a aplicação do mesmo em uma entidade e os principais resultados obtidos.

O terceiro Apêndice (C), artigo intitulado *“A Disaster Response Management System Framework based on interoperability requirements assessment approach”*, além de complementar o processo diagnóstico já desenvolvido nos trabalhos anteriores, visa rever a arquitetura através do uso dos artefatos gerados. Em relação a etapa diagnóstica, os resultados obtidos anteriormente podem ser confrontados através dos novos métodos. O diagnóstico final resultante da integração de diferentes métodos serve como base de entrada para a etapa final de revisão de arquitetura, que visa priorizar as tecnologias necessárias para melhorar o diagnóstico obtido.

O Apêndice D é composto por tabelas contendo todos os atributos utilizados na modelo proposto, classificados como Requisito Funcional (FR, Functional Requirements), Requisito não Funcional (NFR, Non Functional Requirements) e Solução Técnica (TS, Technical Solution). Também apresenta a classificação obtida através do Dematel, assim como as soluções técnicas atingíveis (filtradas) pela instituição (TS-F, Filtered Technical Solution).

O Anexo A, relatório final de PIBIC, relata o positivo e enriquecedor processo de colaboração na orientação de um projeto de iniciação científica (PIBIC) desenvolvido durante o curso de Engenharia de Produção sob coordenação do professor orientador. Diferentes dimensões instrumentais, interface com especialistas da entidade atuante em gestão de desastres e evolução dos mecanismos de avaliação foram consolidados neste trabalho. Os métodos AHP, ANP, Dematel e PROMETHEE são devidamente aplicados, possibilitando a identificação e confirmação de seus objetivos frente as necessidades de avaliação no cenário de DM.

2 ESTRATÉGIA DA PESQUISA

Em busca de alcançar uma fundamentação teórica plausível considerando o domínio em estudo e a proposta do trabalho, é necessário abordar diferentes conceitos de pesquisa. A construção do framework tem sua base metodológica voltada para revisão de literatura, consulta a especialistas e casos de aplicação (Iniciativas). Os diferentes métodos envolvidos visam atender as necessidades apresentadas no Quadro 1, que devem ocorrer preferencialmente de acordo com a ordem cronológica apresentada.

Os objetivos apresentados a seguir são reagrupados para as definições de marcos da pesquisa. Cada marco é definido através da conclusão de fases de trabalho, permitindo o avanço para as atividades subsequentes. Tal divisão pode ser melhor entendida nas definições da Figura 2, que representa as fases de identificação, organização e desenvolvimento e aplicação do modelo, visualizadas por escalas de coloração que representam a escala temporal.

Figura 2 – Etapas do Processo com base nos objetivos



Fonte: O Autor

A primeira fase consiste basicamente na identificação e levantamento das informações sobre o domínio de Gerenciamento de Desastres (Apêndice A), permitindo assim a construção de uma base sólida e consistente dos requisitos necessários para a proposta. Tais informações são extraídas de diferentes fontes, como processo de revisão de literatura, principais iniciativas encontradas, autores de referência e especialistas.

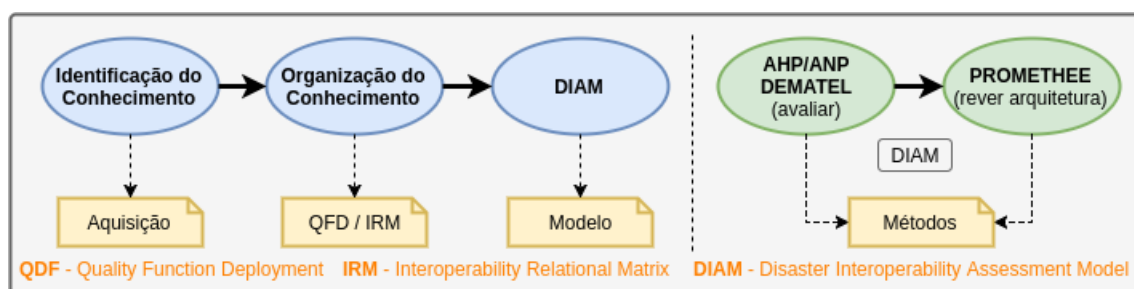
Na segunda fase o processo é iniciado através da organização dos atributos identificados, classificando-os de acordo com exigências do modelo proposto, podendo ser melhor compreendido no Apêndice B. Também levantadas nessa fase as definições de interoperabilidade, identificando métodos e processos que melhor se adaptam com os requisitos do domínio. Fazem parte desses aspectos os Frameworks de Interoperabilidade (IF – Interoperability Framework), que são modelos definidos para diferentes tipos de abordagem ou atuação (Chen, 2006). As atividades desenvolvidas nessa etapa da pesquisa visam permitir o desenvolvimento de um mecanismo de avaliação próprio para o setor, alimentando a fase posterior.

Na fase três, devido ao maior nível de aderência, os métodos QFD, AHP/ANP, Dematel e PROMETHEE foram selecionados para realizar os processos de avaliação multicritério

proposto na pesquisa. O QFD é voltado às dimensões de análise de influência entre os requisitos envolvidos (DM e Interoperabilidade) através de estruturas relacionais que amparam o modelo de análise diagnóstica das capacidades e maturidade organizacional, resultado em uma matriz base de interoperabilidade relacional (IRM - Interoperability Relational Matrix). O Dematel apesar de possibilitar análises diagnósticas, também tem como função apoiar a estruturação do modelo diagnóstico através do mapeamento de influência dos atributos. O AHP/ANP amparam uma perspectiva de avaliação em um nível mais tácito na avaliação de entidades/localidades. Já o último (PROMETHEE) visa contribuir com outro objetivo da pesquisa, voltado para a revisão da arquitetura referencial – Apêndice C.

A utilização dos métodos torna possível a aplicação das avaliações, que possibilita diagnosticar entidades atuantes no domínio de gerenciamento de desastres e também melhorar o próprio modelo, através da realimentação da arquitetura referencial. Visando consolidar o entendimento das atividades, a Figura 3 representa um esquema simplificado com as principais tarefas executadas na pesquisa.

Figura 3 – Esquematização das atividades

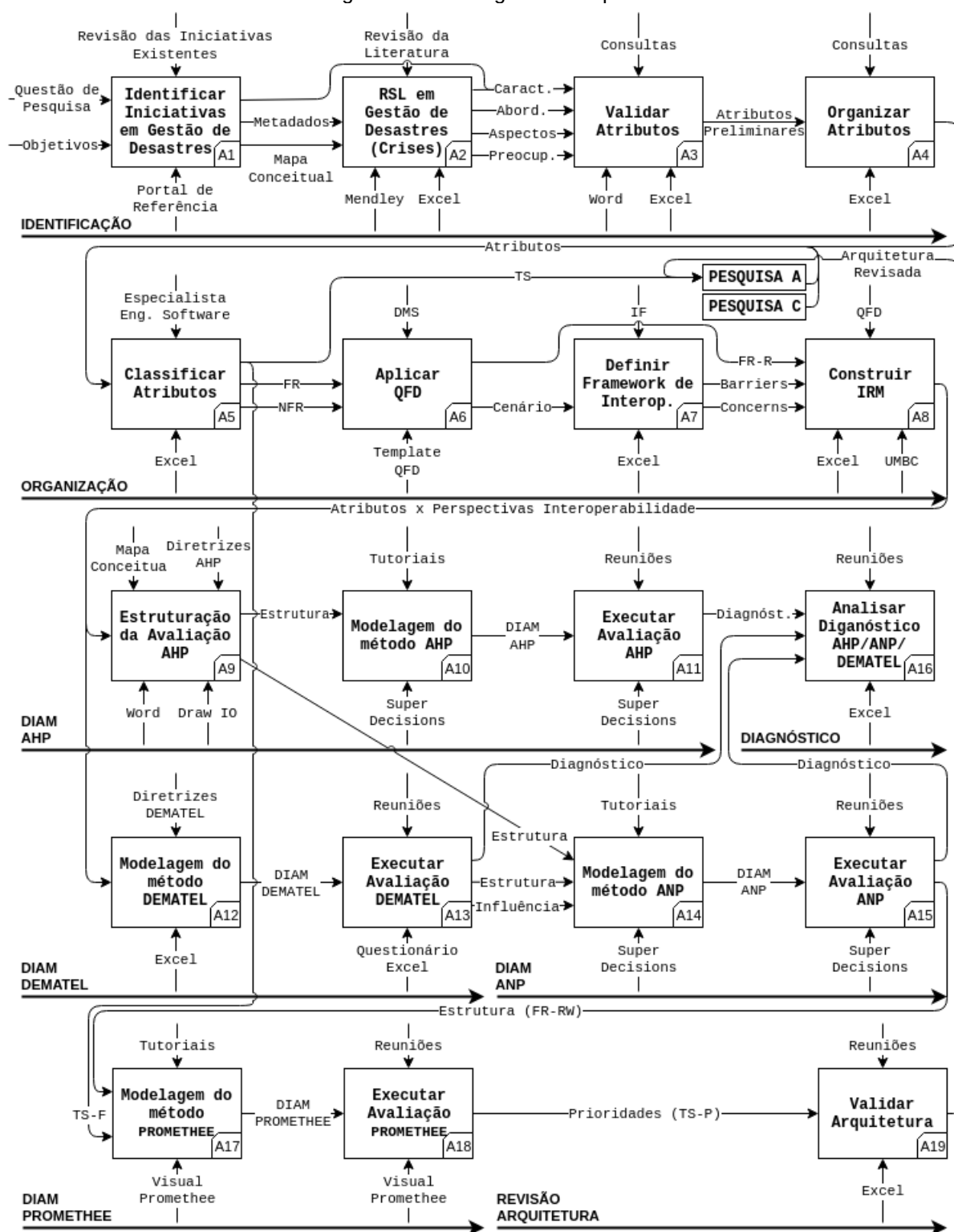


Fonte: O Autor

Para a devida documentação, controle e acompanhamento das atividades descritas anteriormente, foi utilizado um modelo IDEF (NIST, 1993). A notação utilizada do modelo é o IDEF0, que basicamente auxilia na modelagem de decisões, ações e atividades. Tal especificação foi derivada de uma linguagem gráfica (Structured Analysis and Design Technique - SADT), que tem como objetivo ajudar a organizar a análise de um sistema e promover uma boa comunicação entre os *stakeholders*. Apresentado como uma análise funcional, o IDEF0 aumenta a participação de especialistas de domínio na tomada de decisões através de dispositivos gráficos simplificados. Como uma ferramenta de análise, auxilia o modelador na identificação das funções a serem executadas, os requisitos para sua execução, e o resultado de sua devida utilização (NIST, 1993).

A pesquisa utiliza a notação para estruturar as atividades necessárias, definindo cada etapa com suas entradas, processos e saídas, conforme mostra a Figura 4, modelo adotado para estratégia de pesquisa.

Figura 4 – Estratégia da Pesquisa



Fonte: O Autor

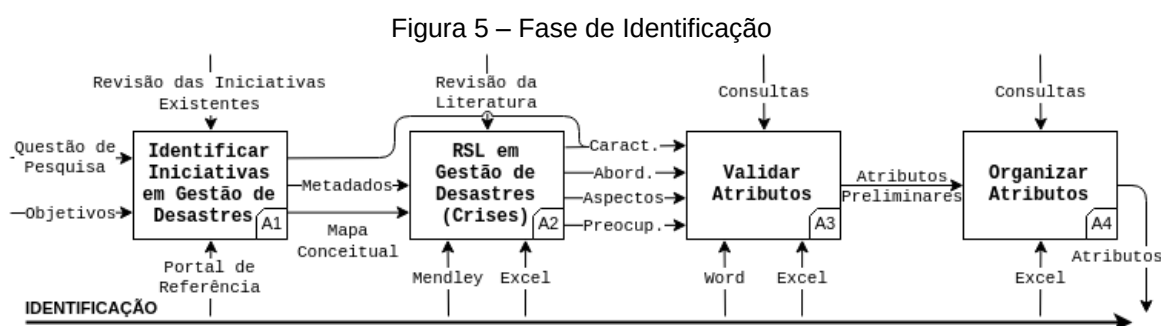
Na estrutura IDEF0 apresentada é possível notar, à luz da Figura 2, a separação por fases de desenvolvimento, facilitando a identificação das atividades desenvolvidas e permitindo maior entendimento do escopo de tratativa metodológica. Tal separação também permite ter uma visão análoga com os objetivos almejados na concepção do trabalho,

garantindo que nenhuma atividade fique desconecta da proposta. Esta base metodológica é associada, nas publicações realizadas, ao framework de suporte ao ciclo de desenvolvimento do DRMS (Disaster Response Management System) onde são identificadas as fases: (i) identificação do conhecimento, (ii) organização do conhecimento, (iii) espaço de avaliação DIAM – método AHP, (iv) espaço de avaliação DIAM – Dematel & ANP, (v) espaço de avaliação DIAM PROMETHEE e (vi) revisão arquitetura. Estas fases são detalhadas a seguir.

2.1 FASE DE IDENTIFICAÇÃO

A Figura 5 representa as atividades do processo de identificação do conhecimento composto pelas ações de: (i) identificar iniciativas em gestão de desastres (A1) – visa levantar as principais soluções de sucesso e identificar arquiteturas e componentes considerados; (ii) revisão sistemática da literatura (A2) – processo de construção da base teórica com base nos trabalhos científicos existentes; (iii) identificação e validação de atributos (A3) – objetiva identificar as características mais encontradas nas bases de conhecimento exploradas; e (iv) organizar atributos – para eliminar as características redundantes principalmente quanto a semântica dos atributos (A4). Em resumo, a fase representa a obtenção da base de conhecimento fortemente amparada pelas características e requisitos do domínio, item primordial para atender os objetivos propostos na pesquisa.

Nesta fase é importante destacar o conceito de atributo, considerado aquilo que é próprio de algo, como características, classes e variáveis. Os atributos fornecem informações, comportamentos e características específicas sobre os domínios estudados com a finalidade de estabelecer um plano, uma ação que torne mais compreensível este contexto de aplicação (Bordini, 2015).



Fonte: O Autor

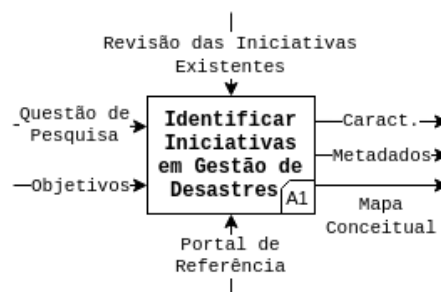
A etapa denominada identificação, tem uma grande participação de outras pesquisas envolvidas no projeto, identificadas na Figura 1 como Pesquisa A e Pesquisa C. A primeira citada realiza um processo similar ao presente trabalho para a obtenção dos atributos, uma vez que tem como objetivo de trabalho criar uma arquitetura de referência para o domínio de gerenciamento de desastres. Tal etapa foi desenvolvida em conjunto com a Pesquisa A, garantindo maior aderência dos atributos para o contexto. A Pesquisa C também tem sua

contribuição com foco nos requisitos de mobilidade, já que o objetivo principal do referido trabalho está na construção de um Sistema de Medição de Desempenho (SMD) para o setor (mobilidade). As atividades serão detalhadas na sequência.

2.1.1 Identificar Iniciativas em Gestão de Desastre

A atividade aqui representada (Figura 6), tem como objetivo identificar as principais iniciativas encontradas em todo o mundo. A importância de tal levantamento surge devido a possibilidade de identificação de casos reais em andamento ou finalizados, permitindo assim analisar e mensurar seus resultados. Tais iniciativas colaboram para confrontar as informações futuramente identificadas na Revisão de Literatura.

Figura 6 – IDEF0 (A1): Identificar Iniciativas em GD



Fonte: O Autor

O levantamento das iniciativas permitiu identificar que os conceitos aplicados no gerenciamento de desastres podem abranger diversos aspectos. Dentre eles há características que podem determinar seu poder de atuação, como segurança, baixo custo e mobilidade. Este último – mobilidade – é considerado primordial nas principais iniciativas atuantes em gerenciamento de desastres. Uma das fontes de identificação foi o Transport Research & Innovation Portal (TRIP, 2015), que é considerado um dos principais portais sobre pesquisas que envolvem transportes e inovação a nível europeu. Os países participantes fornecem um resumo sobre a organização dos transportes que praticam em seus territórios, além de disponibilizar filtros para verificação de iniciativas relacionadas à desastres.

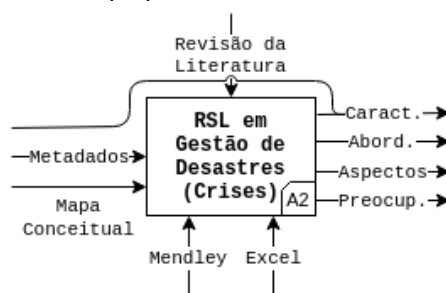
Outra importante fonte de identificação é a literatura, que possibilita a investigação por padrões e definições através de buscas por palavra-chave em base de dados, sendo uma das principais referências para o tema o “Handbook of Emergency Response” (Badiru e Racz, 2013).

2.1.2 Processo de RSL (Revisão Sistemática da Literatura)

A presente atividade, mostrada na Figura 7, é necessária para levantar os requisitos iniciais do tema abordado, o Gerenciamento de Desastres. A utilização do processo visa obter um grupo de documentos que possam servir de base para a construção de um conjunto de

requisitos. Após o trabalho de RSL, os documentos resultantes serão analisados para levantamento manual das principais características que compõe um ambiente de gerenciamento de desastres. O processo descrito servirá apenas para uma base inicial dos requisitos necessários, que poderão ser acrescidos, melhorados ou ajustados de acordo com as etapas seguintes da pesquisa.

Figura 7 – IDEF0 (A2): Revisão Sistemática da Literatura

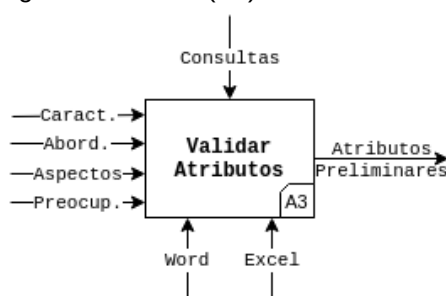


Fonte: O Autor

2.1.3 Validação de atributos

A atividade mostrada no IDEF0 da Figura 8 tem como objetivo identificar e validar os atributos identificados no domínio de gerenciamento de desastres com pessoas atuantes na área. Tal etapa garante que as informações retiradas da literatura e iniciativas existentes sejam pertinentes com o cenário de GD.

Figura 8 – IDEF0 (A3): Validar Atributos



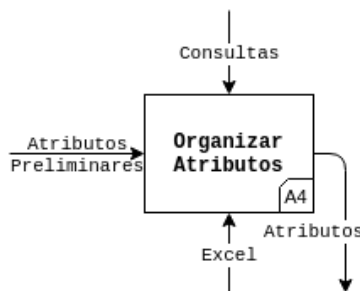
Fonte: O Autor

A atividade permite também – através de um *brainstorm* - que novas informações sejam acrescentadas ou adaptadas. Isso porque o local de atuação dos especialistas pode ter características peculiares não identificadas nos trabalhos identificados. Dessa forma, a validação dos especialistas locais traz mais robustez das informações, fornecendo base consensual sobre os atributos que caracterizam o DM e inferindo maior confiabilidade para o desenvolvimento das ações propostas na pesquisa.

2.1.4 Definição da base de atributos

A atividade representada no IDEF0 da Figura 9, representa o processo de padronização e organização dos atributos garantindo o perfeito entendimento dos mesmos nas fases seguintes que os relaciona com requisitos funcionais, não funcionais e solução tecnológica. Tal processo é realizado através de atividades como: remoção de duplicidades; unificação de características ambíguas; e redefinição de características.

Figura 9 – IDEF0 (A4): Organizar Atributos

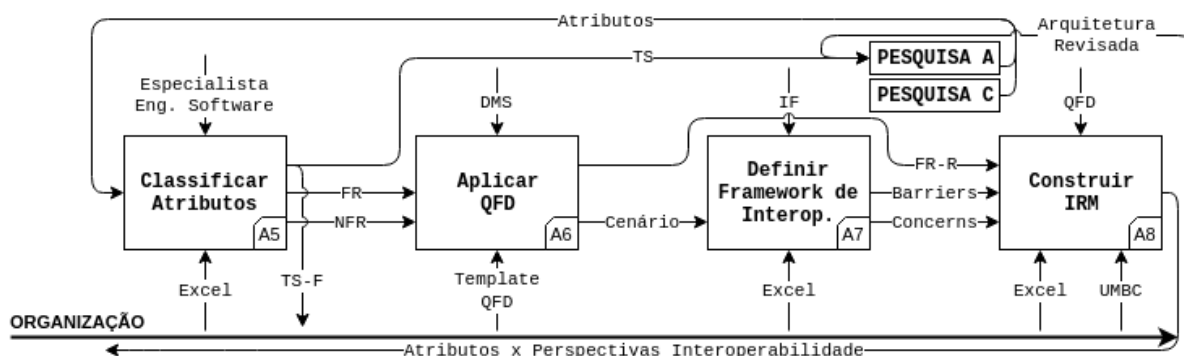


Fonte: O Autor

2.2 FASE DE ORGANIZAÇÃO

Após a devida identificação do cenário abordado é necessário organizar as informações obtidas visando a criação do modelo na fase subsequente. É importante na fase de organização a adoção de um framework de interoperabilidade que apoie a classificação e posicionamento de tais atributos em diferentes dimensões que a interoperabilidade preconiza. São dimensões que envolvem perspectivas de negócio, processos, dados e serviços sob ótica semântica, tecnológica e estratégia organizacional (que incidem sobre as perspectivas - barreiras). Esta abordagem estende a visão de análise e tratativa das propostas encontradas na literatura que focam apenas nas dimensões de informação e tecnológica. As perspectivas e óticas citadas são elementos indissociáveis e que devem ser considerados para adequada avaliação do desempenho necessário inerente ao gerenciamento de desastres. A Figura 10 representa as principais atividades desenvolvidas na presente etapa da pesquisa.

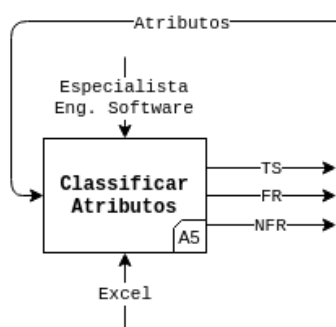
Figura 10 – IDEF0: Organização



Fonte: O Autor

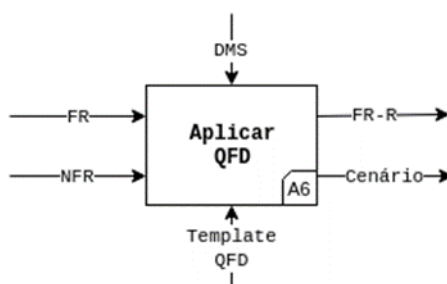
Com a base de atributos resultantes da etapa anterior, os participantes do projeto realizam, cooptando especialistas do domínio DM e Sistemas, uma classificação dos atributos em três conjunto de dados: Requisitos Funcionais (FR – Functional Requirements), Requisitos Não Funcionais (NFR – Non functional Requirements) e Solução Técnica (TS – Technical Solution) – todos listados no Apêndice D. A atividade de classificar atributos (Figura 11) com base nos conceitos de Engenharia de Software permite uma adequada estruturação do modelo proposto de forma a atender requisitos de arquitetura coerentes com o potencial de interoperação da entidade.

Figura 11 – IDEF0 (A5): Classificar Atributos



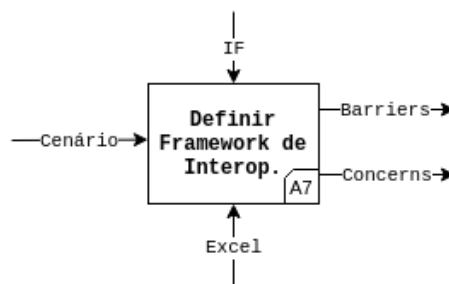
Na sequência (Figura 12) é aplicado um QFD (Quality Function Deployment) para validar os FRs frente aos NFRs, obtendo assim o Resultado de Requisitos Funcionais (FR-R, Functional Requirements Result). Tal estrutura é montada para atender os requisitos propostos no modelo de forma que seja desconsiderado os requisitos que não tem uma representatividade para atuação no cenário de DM. O resultado da atividade é utilizado tanto na criação da arquitetura referencial (Pesquisa A) quanto no processo de avaliação diagnóstica sob a ótica da interoperabilidade. A estrutura de seleção com o apoio do QFD é apresentado no artigo do Apêndice B.

Figura 12 – IDEF0 (A6): Aplicar QFD



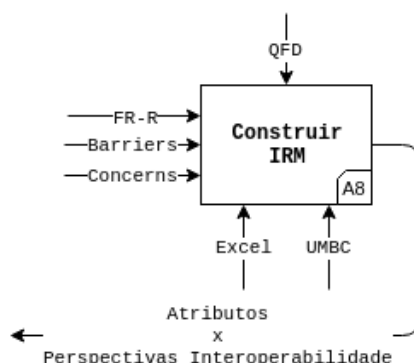
Nesse grupo de atividades também estão relacionados a identificação e estudo dos conceitos e frameworks de interoperabilidade que mais se aderem ao domínio estudado. A finalidade da atividade representada na Figura 13 é definir um framework que possa apoiar com propriedade o cenário em questão. O principal critério utilizado para seleção foram aplicações existentes em ambientes similares possibilitando maior aderência dos conceitos envolvidos.

Figura 13 – IDEF0 (A7): Definir Framework de Interoperabilidade



O poder de análise relacional do QFD no domínio de engenharia de sistemas e o trabalho de Cestari (2015), inspiraram a criação de uma Matriz de Interoperabilidade Relacional (IRM - Interoperability Relational Matrix). O IRM resulta na identificação de requisitos funcionais (FR-R) fortemente correlacionados com a perspectiva de Interoperabilidade (I - Interoperability). A Figura 14 representa o IDEF0 responsável pela IRM definida no Apêndice B.

Figura 14 – IDEF0 (A8): Construir IRM



Fonte: O Autor

A matriz obtida nesta etapa é a principal base para o desenvolvimento das atividades subsequentes, fortemente apoiadas por métodos MCDM/A. Tal importância desta concepção é que seu resultado permite alimentar tais métodos com a perspectiva de interoperabilidade já incorporados no cenário de DM. Os modelos AHP e ANP, por exemplo, consomem de forma direta a informação relacional sugerida pelo IRM identificando: níveis superiores da estrutura AHP/ANP que envolvem as perspectivas da interoperabilidade (critérios), que por sua vez aglutinam, em nível inferior, diferentes atributos de DM mais associados a cada perspectiva (subcritérios).

2.3 FASE DE CONCEPÇÃO DO MODELO E APLICAÇÃO

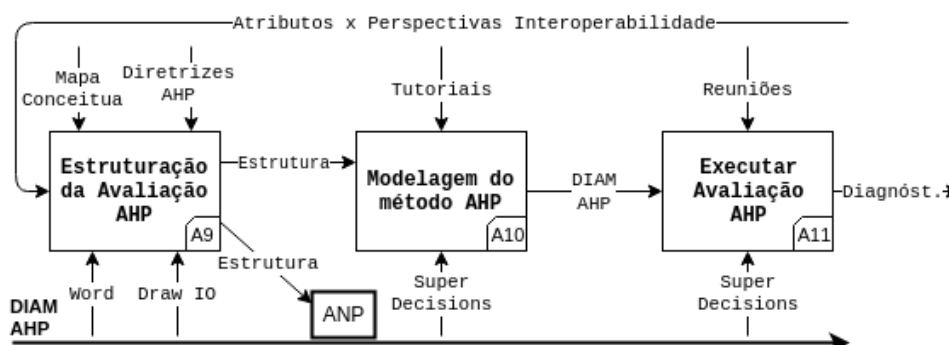
Com os dados de entrada definidos através do IRM é possível realizar a estruturação e aplicação do DIAM de acordo com os diferentes espaços de avaliação que o mesmo engloba. O modelo irá fornecer subsídios para um diagnóstico dos pontos fortes e fracos identificados pós aplicação na entidade sob análise, além de permitir através do método de

priorização quais características da arquitetura podem ser consideradas mais relevantes de acordo com as propriedades mais atenuantes obtidas no diagnóstico.

Os primeiros passos do DIAM, em seu escopo de avaliação, estão centrados na modelagem e execução das avaliações do AHP (A9-A10) e Dematel (A12-A13), que podem ocorrer de forma paralela. As demais atividades (espaços de avaliação ANP, A14-A15 e PROMETHEE, A17-A18) dependem que estes métodos iniciais já estejam executados, pois tem como parte dos dados de entrada a saída destes citados.

A Figura 15 mostra as atividades de estruturação, concepção do modelo e aplicação de parte do DIAM com base no método AHP, que consistem em atividades como estruturar o modelo de avaliação e inserir/parametrizar na ferramenta Super Decisions® (Saaty, 2003). É necessário que um especialista forneça a relevância entre os atributos, possibilitando então a aplicação de avaliação. Com base em trabalhos análogos na avaliação de interoperabilidade através de métodos multicritério (Bordini, 2015; Cestari, 2015) foram estipulados três níveis de classificação: básico, intermediário e avançado.

Figura 15 – IDEF0: DIAM AHP



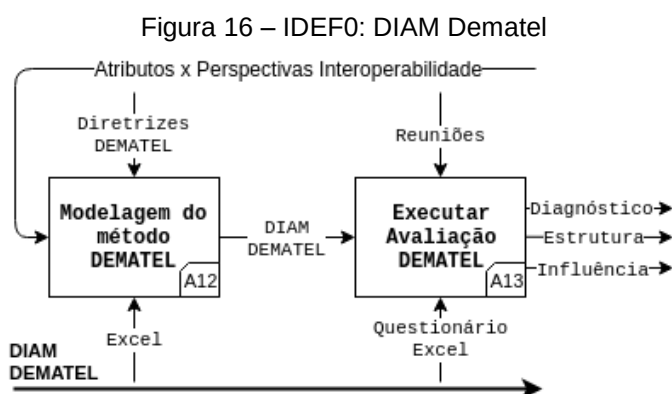
Fonte: O Autor

Com base nos estudos de Cestari (2015) e Salmon (2011) foi definido que o nível *básico* indica que há uma grande variação nos processos e práticas adotadas. Estes geralmente apresentam fortes dependências de sistemas manuais, resultando em processos complexos e demorados. A classificação *intermediária* representa instituições que buscam alcançar uma gama variada de objetivos organizacionais, incluindo redução da variabilidade de processos e maior integração dos departamentos. No geral, caracterizadas por sistemas e processos complexos, porém coordenados por um órgão ou conselho central. Já o nível *avançado* é obtido em avaliações de instituições com uma estrutura completamente desenvolvida, com políticas e recursos estrategicamente definidas para o alcance dos objetivos organizacionais. Estas são instituições fortemente aptas para atuar no contexto avaliado. Estas definições foram instanciadas para os diferentes atributos (critérios) através dos métodos MCDM e são utilizadas para posicionamento da entidade pós avaliação.

O espaço de avaliação proporcionado pelo DIAM ANP (atividades A14-A15) utiliza a mesma estrutura do AHP (A9), com uma especificação mais detalhada quanto as

comparações entre diferentes atributos de grupos (clusters) diferentes, definidos estas de acordo com o resultado do Dematel (relações de influência, Apêndice D) (A13).

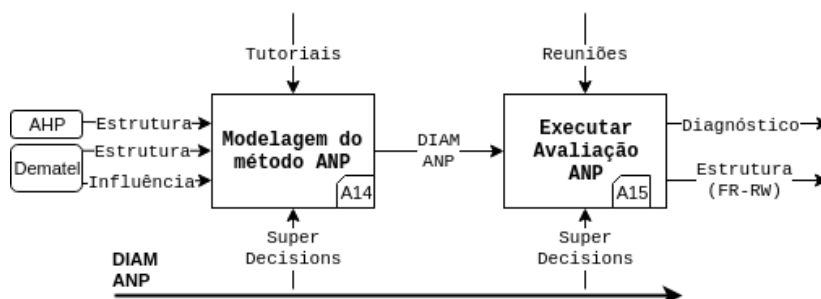
O Dematel fornece uma investigação mais robusta das relações de influência entre os atributos de DM, suprimindo uma fragilidade do método QFD (teto da estrutura apresentada no IRM do Apêndice B) que fornece apenas informação de relação sem uma análise bidirecional da natureza de influência. Como mostra a Figura 16, a principal base da modelagem do DIAM Dematel está nos atributos relacionados com as perspectivas de interoperabilidade resultantes do IRM.



Um recurso de análise interessante do Dematel é a possibilidade de gerar grafos que mapeiam a influência entre os atributos permitindo uma análise visual do cenário implicado no DM. Esta análise, além do teor diagnóstico intrínseco fornecido⁴, sugere uma revisão da estrutura puramente hierárquica do modelo AHP (A9) ampliando o espectro de relações *pairwise* intergrupos (clusters), caracterizando um modelo ANP. Esta estrutura é mostrada na Figura 17 que, portanto, consome as informações de influência sinalizadas pelo Dematel para determinação das relações entre atributos (critérios) de clusters distintos, o que não era feito no AHP com estrutura puramente hierárquica. Isso torna a modelagem estrutural do AHP mais afinada com o ANP em seu espaço de observação e avaliação. O resultado diagnóstico obtido com o espaço de avaliação DIAM AHP pode ser confrontado com o resultado do DIAM ANP (atividade A16).

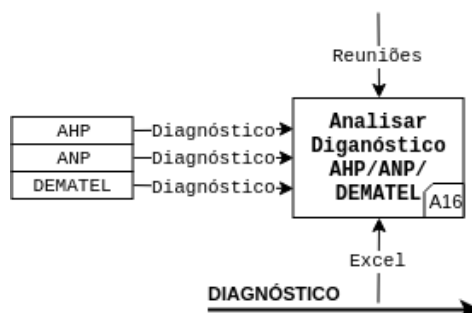
⁴ Identificam-se com o Dematel atributos que mais influenciam, assim como atributos mais influenciados no universo do espaço do GD.

Figura 17 – IDEF0: DIAM ANP



Dessa forma é possível realizar uma análise dos diagnósticos obtidos com o DIAM AHP/Dematel/ANP (Figura 18) em um processo de conciliação e corroboração diagnóstica. Tais diagnósticos apresentam o posicionamento da instituição avaliada perante o cenário de DM, assim como permite identificar os pontos fracos e fortes de sua atuação sob a ótica do potencial de interoperação existente. Através da ferramenta Super Decisions® uma série de análises para simulações de alteração do cenário (análise de sensibilidade com base nos critérios envolvidos), favorece a identificação de quais ajustes na instituição podem ter um efeito mais positivo sobre seu potencial de interoperabilidade e desempenho no DM.

Figura 18 – IDEF0: Diagnóstico

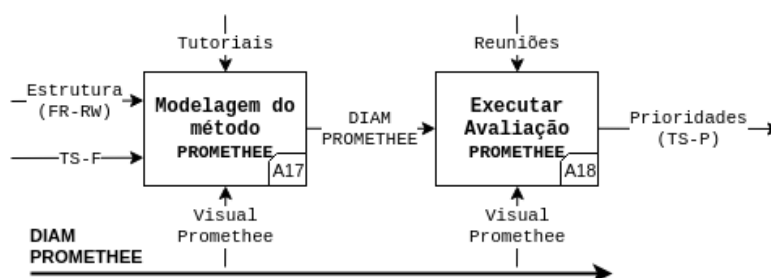


Com os diagnósticos obtidos é possível aplicar o último método previsto no DIAM, o PROMETHEE. Seu espaço de avaliação visa priorizar as soluções tecnológicas de acordo com as características mais falhas identificadas na entidade analisada, através das ponderações obtidas pelos vetores de priorização ANP em seus diferentes níveis (perspectivas da interoperabilidade e atributos de DM). Ou seja, os elementos diagnosticados como fragilidades ou barreiras na organização (pelo ANP), são colocados em matriz de avaliação PROMETHEE como critérios sob ponderação reversa (mais acentuada). Isso polariza a priorização de alternativas (tecnologias) que impactam na melhoria da capacidade de interoperação da entidade sob o espectro da arquitetura referencial.

A última etapa (Figura 19) do DIAM objetiva uma avaliação da arquitetura referencial através da priorização dos atributos de TS de acordo com o diagnóstico obtido na fase anterior, que deverá ser executada através de uma análise mais granular com apoio do método PROMETHEE. A utilização da ferramenta Visual Promethee (VP Solutions, 2013) facilita a execução dos passos previsto no método. A estruturação do cenário a ser avaliado

consiste na seleção dos atributos mais fracos (FR-RW) obtidos na fase diagnóstica juntamente com os atributos de TS filtrados (TS-F, Filtered Technical Solutions), que representa a arquitetura de referência. O filtro é utilizado para permitir que a priorização seja aplicada em uma arquitetura alcançável pela instituição, adequando o atendimento dos pontos fracos identificados dentro das TS aplicáveis para a organização em questão.

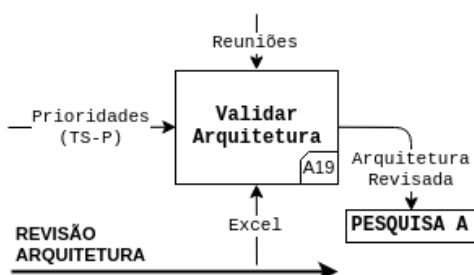
Figura 19 – DIAM PROMETHEE



Fonte: O Autor

Após as principais parametrizações do método (função, índice de preferência e peso – esse calculado através do diagnóstico), o especialista realiza a avaliação dos atributos inseridos anotando o grau de importância de cada relação. Dentre as diversas análises e simulações possibilitada pelo método, o principal resultado é a priorização de importância da dimensão arquitetura (TS-P, Prioritized Technical Solution). Tal classificação pode ser analisada e reposicionar a arquitetura de referência visando sua melhoria. Como pode ser visto na Figura 20, a última atividade visa, a partir de seus resultados, realimentar outra pesquisa do Projeto (A) envolvida diretamente com a arquitetura referencial.

Figura 20 – Validar Arquitetura



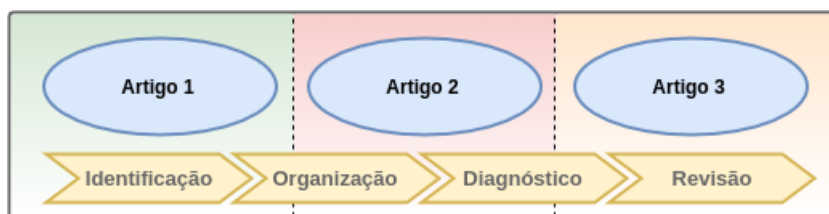
Fonte: O Autor

2.4 POSICIONAMENTO DA ESTRATÉGIA DE PESQUISA COM ARTIGOS GERADOS

Conforme a Figura 21, o desenvolvimento dos artigos está fortemente fundamentado na estratégia de pesquisa apresentada. Dessa forma, a produção dos mesmos visa contemplar o escopo descrito conforme atividades mostradas na Figura 4. Em relação a proposta de trabalho, as atividades relacionadas a identificação do cenário em DM estão contempladas no artigo do Apêndice A. O artigo do Apêndice B contempla toda as atividades de organização do atributo até a concepção do IRM, além da implementação da primeira fase

do DIAM através do diagnóstico obtido no AHP. O Apêndice C traz o artigo que fecha o ciclo proposto no framework. Nele foi realizada uma melhoria no diagnóstico através do Dematel, que possibilitou a especificação AHP em comparações de diferentes clusters (ANP) permitindo assim resultados mais precisos. No mesmo documento foram implementadas as atividades de revisão da arquitetura referencial realizado através do DIAM PROMETHEE, que possibilitou a priorização dos atributos de soluções técnicas (TS-P) de acordo com o diagnóstico obtido.

Figura 21 – Posicionamento



Fonte: O Autor

3 BASE INSTRUMENTAL

3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura sobre um determinado assunto é conhecida como revisão sistemática. No processo estão centradas atividades de coleta, conhecimento, compreensão, análise, sintetização e avaliação dos dados de um certo conjunto de trabalhos científicos (Cook et al., 1997). Como o presente trabalho aborda diferentes temas de estudo, a revisão sistemática de literatura não será aplicada em todo o processo que envolve a pesquisa, focando na identificação de pesquisas atuantes no domínio de GD.

Em uma primeira análise quantitativa dos trabalhos, foi utilizado uma String de busca em duas bases (Science Direct e Scopus) de alto prestígio no meio acadêmico. O texto de busca foi realizado de acordo com dois grupos básicos de termos: “disaster management system(s)” ou “crisis management system(s)”. Com o objetivo de identificar um filtro inicial, foram realizados alguns testes com a base Scopus. O termo de busca inicial escolhido está em destaque no Quadro 2.

Quadro 2 – Testes para identificação de consulta Inicial

String de Busca	Total
(TITLE-ABS-KEY(disaster OR crisis) AND TITLE-ABS-KEY(management)AND TITLE-ABS-KEY(system*))	23509
(TITLE-ABS-KEY(disaster management system*) OR TITLE-ABS-KEY(crisis management system*))	23509
(TITLE-ABS-KEY(disaster OR crisis) AND TITLE-ABS-KEY(management)AND TITLE-ABS-KEY(system OR systems))	22133
(TITLE-ABS-KEY(disaster management system) OR TITLE-ABS-KEY(crisis management system))	22133
(TITLE-ABS-KEY(disaster W/3 management system*) OR TITLE-ABS-KEY(crisis W/3 management system*))	8250
(TITLE-ABS-KEY(disaster PRE/3 management system*) OR TITLE-ABS-KEY(crisis PRE/3 management system*))	7608
(TITLE-ABS-KEY(disaster W/1 management system*) OR TITLE-ABS-KEY(crisis W/1 management system*))	7415
(TITLE-ABS-KEY(disaster PRE/1 management system*) OR TITLE-ABS-KEY(crisis PRE/1 management system*))	7170
(TITLE-ABS-KEY(disaster W/0 management system*) OR TITLE-ABS-KEY(crisis W/0 management system*))	6825
(TITLE-ABS-KEY(disaster PRE/0 management system*) OR TITLE-ABS-KEY(crisis PRE/0 management system*))	6754
((TITLE-ABS-KEY(disaster W/3 management) OR TITLE-ABS-KEY(crisis W/3 management*)) AND TITLE-ABS-KEY(management W/6 system*))	2242
((TITLE-ABS-KEY(disaster W/3 management) OR TITLE-ABS-KEY(crisis W/3 management*)) AND TITLE-ABS-KEY(management W/3 system*))	1752
(TITLE-ABS-KEY(disaster W/3 management W/6 system*) OR TITLE-ABS-KEY(crisis W/3 management W/6 system*))	1246
((TITLE-ABS-KEY(disaster W/0 management) OR TITLE-ABS-KEY(crisis W/0 management*)) AND TITLE-ABS-KEY(management W/0 system*))	824
(TITLE-ABS-KEY(disaster PRE/3 management PRE/6 system*) OR TITLE-ABS-KEY(crisis PRE/3 management PRE/6 system*))	806

((TITLE-ABS-KEY(disaster PRE/0 management) OR TITLE-ABS-KEY(crisis PRE/0 management*)) AND TITLE-ABS-KEY(management PRE/0 system*))	798
---	-----

Fonte: O Autor.

As palavras que formam cada termo foram unidas por conectores de proximidade (/W – within). Os termos foram ligados por conector booleano de opção (OR). O plural da palavra “system” que compõe o termo é representado através do caractere “*”. Tendo o termo de início identificado, foi possível analisar alguns números nas diferentes bases, como os totais apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – String abrangente de busca (Scopus e Science Direct)

Base	String de Busca	Total
Scopus	((TITLE-ABS-KEY(disaster W/3 management) OR TITLE-ABS-KEY(crisis W/3 management*)) AND TITLE-ABS-KEY(management W/3 system*))	1752
Science Direct	((disaster W/3 management W/6 system*) OR (crisis W/3 management AND system*))	9054

Fonte: O Autor.

Apesar dos números serem distantes, não é possível realizar uma comparação direta entre as bases, já que cada portal possui seus próprios mecanismos de buscas e filtros. De acordo com análise superficial, a base de dados da Scopus mostrou mais proximidade proporcional em relação a área de envolvimento dos trabalhos, tendo mais vínculos com o domínio de sistemas e engenharia. Nos próximos parágrafos serão apresentados alguns números que refletem os trabalhos sobre o tema de acordo com a base encontrada.

Na Figura 22 é possível identificar o crescimento dos números de trabalhos publicados principalmente nos últimos 12 anos, mostrando também que o interesse nas pesquisas não teve queda após o significado aumento, sugerindo que o tema ainda está em destaque. É possível notar também que alguns trabalhos já contemplavam tal assunto desde os anos 70, mostrando que o tema já era percebido, mesmo que timidamente, há algumas décadas.

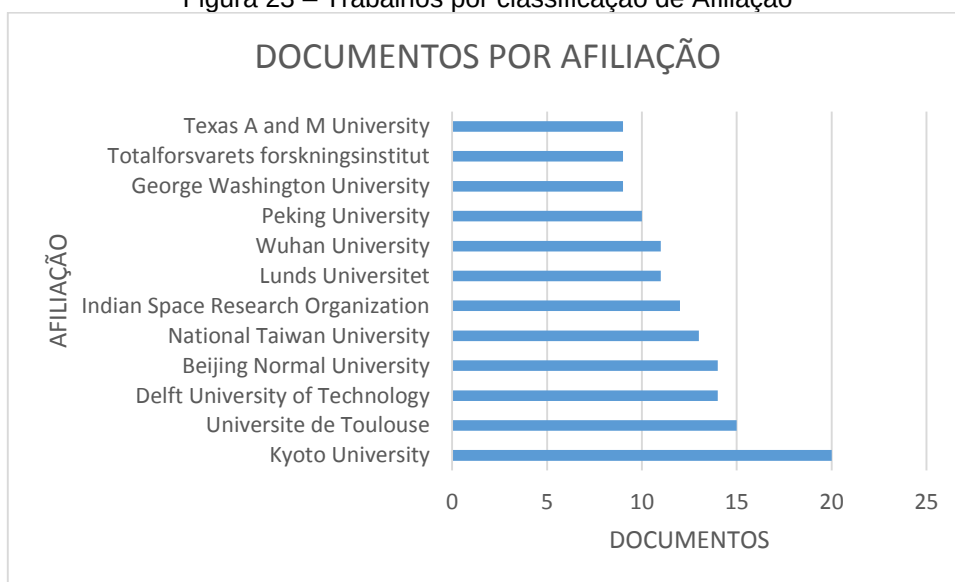
Figura 22 – Trabalhos por classificação temporal



Fonte: O autor.

As principais instituições nas quais os trabalhos estão vinculados são mostradas na Figura 23. Os números sugerem as entidades que possuem mais participantes atuando no mesmo tema de pesquisa, dando maior credibilidade para a organização no assunto abordado. O gráfico também pode vir a mostrar que o alto número de publicações seja originado por autores específicos, e não por equipes específicas dedicadas.

Figura 23 – Trabalhos por classificação de Afiliação



Fonte: O autor.

A quantidade de trabalhos por autores ajuda a identificar os principais contribuintes para o levantamento de informações sobre o tema abordado, mostrado na Figura 24. Com os números é possível também relacionar os autores com as instituições nas quais o trabalhos estão relacionados, obtendo assim as principais referências sobre o tema de Gerenciamento de Desastres.

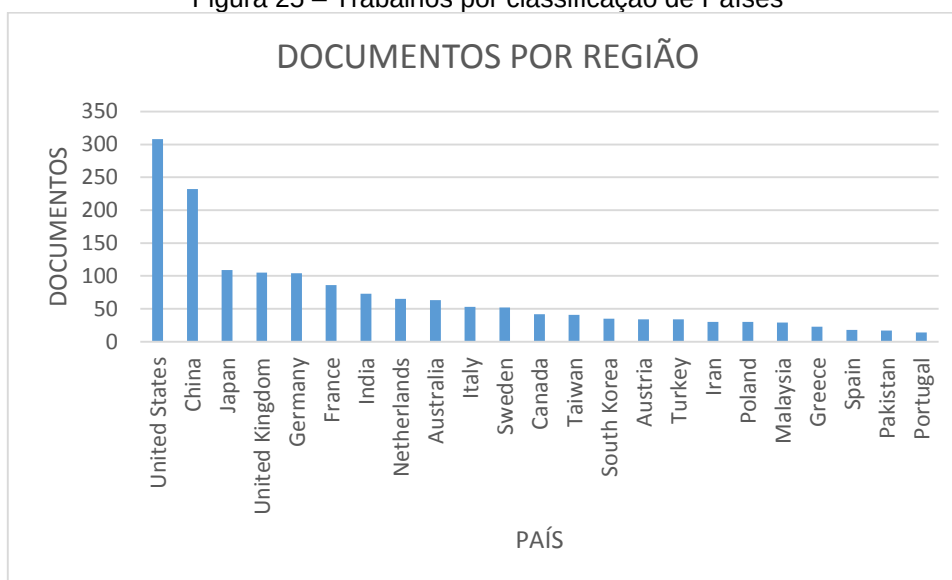
Figura 24 – Trabalhos por classificação de Autores



Fonte: O autor.

Outra informação considerada importante para a análise inicial está centrada no número de publicações por região. Tal informação mostra as localidades que tem maior interesse no desenvolvimento do tema de gerenciamento de desastres, e consequentemente podem ter as melhores práticas e soluções aplicadas. Os números são mostrados na Figura 25.

Figura 25 – Trabalhos por classificação de Países

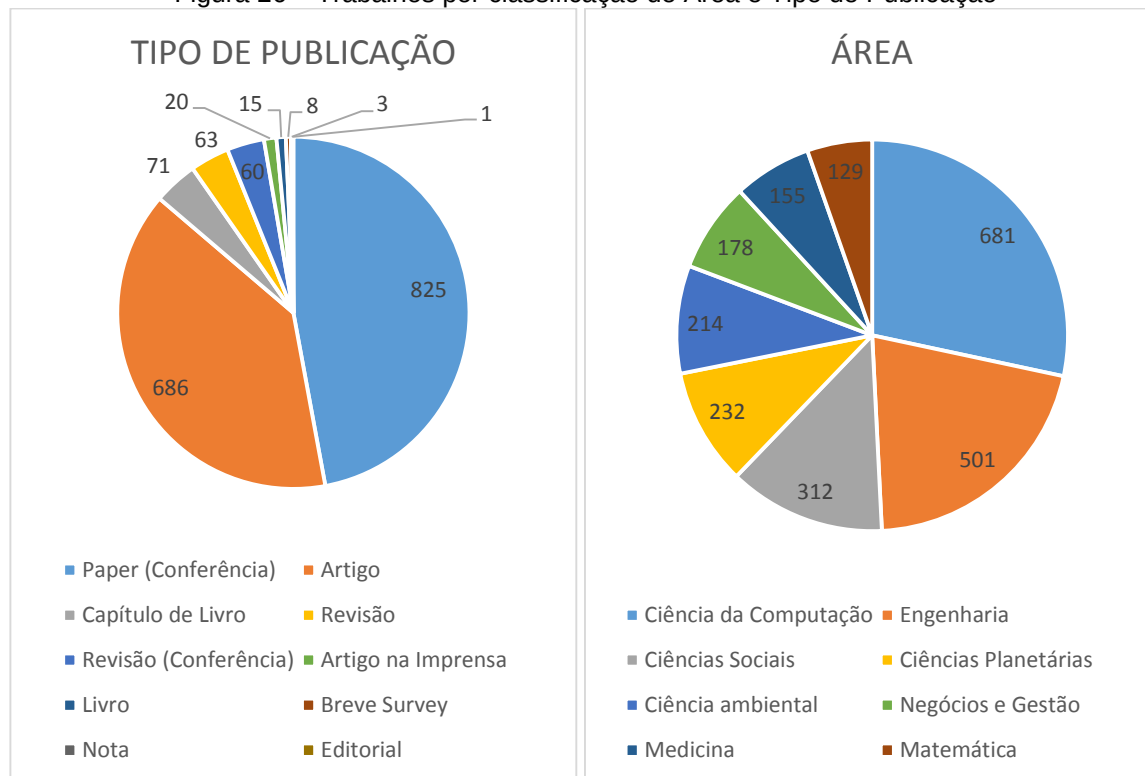


Fonte: O autor.

Outra análise interessante para documentação é a identificação dos trabalhos em relação ao vínculo de área de atuação e o tipo de publicação. Tais características contribuem para identificar as principais áreas de interesse em relação ao tema abordado. Na figura 26, é possível notar que o gerenciamento de desastres está diretamente ligado aos aspectos de sistemas, engenharia, geociências e ciências sociais. É possível também identificar setores

que tratam algumas atividades em relação ao gerenciamento de desastres. Tais áreas com números reduzidos, na maioria das vezes, não trazem informações relevantes para o tema da pesquisa, como nas áreas de medicina e matemática.

Figura 26 – Trabalhos por classificação de Área e Tipo de Publicação



Fonte: O autor.

A análise quantitativa de documentos apresentada é de fundamental importância para a compreensão da abordagem do tema em todo o planeta. A identificação de tempo, autores, localidades, tipo de documentos e área de atuação, contribui fortemente para a construção da base de conhecimento. No presente trabalho a revisão de literatura empregada tem como objetivo atender apenas parte da pesquisa, principalmente na identificação de requisitos iniciais. Dessa forma surge a necessidade de reduzir a quantidade de documentos encontrados, resultando somente nos trabalhos diretamente relacionadas com o tema estudado.

O processo para atingir o resultado estipulado é realizado através da aplicação de filtros, que por meio de métricas e características pertinentes ao tema pesquisado permitem resultar em um grupo reduzido de trabalhos, facilitando assim a análise e extração do conhecimento necessário. Os filtros são trabalhados diretamente no afinamento do termo de busca apresentado inicialmente, nos quais os passos aplicados são mostrados no Quadro 4.

Quadro 4 – Filtros aplicados nos termos de busca.

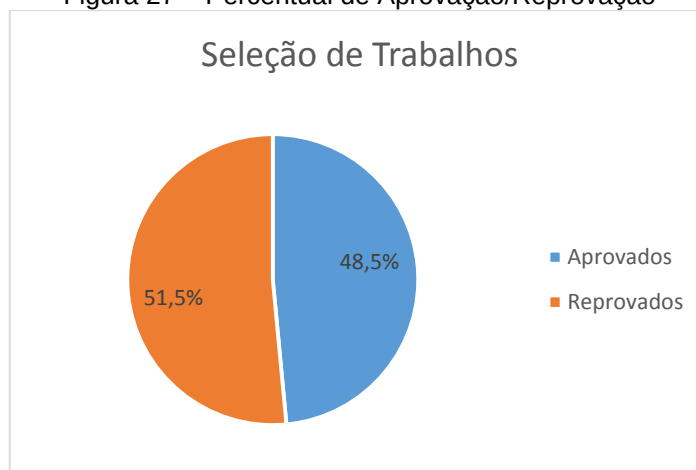
Identificação	Descrição	String de Busca	Tot.
INICIAL	Texto de busca ainda genérico, objetivando retornar todos os trabalhos relacionados diretamente ao tema	((TITLE-ABS-KEY(disaster W/3 management) OR TITLE-ABS-KEY(crisis W/3 management*)) AND TITLE-ABS-KEY(management W/3 system*))	1752
RESTRIÇÃO DE BUSCA	O primeira restrição foi realizado na exclusão de busca por Abstract, juntamente com a redução do campo de proximidade Within	((TITLE (disaster W/0 management) OR TITLE (crisis W/0 management*)) AND TITLE (management W/0 system*)) OR ((KEY (disaster W/0 management) OR KEY (crisis W/0 management*)) AND KEY (management W/0 system*))	329
IDIOMA	Restrição de língua inglesa	((TITLE (disaster W/0 management) OR TITLE (crisis W/0 management*)) AND TITLE (management W/0 system*)) OR ((KEY (disaster W/0 management) OR KEY (crisis W/0 management*)) AND KEY (management W/0 system*)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))	314
ÁREA (INCLUSÃO)	Restrição para trabalhos com participações nas área de engenharia e computação	((TITLE (disaster W/0 management) OR TITLE (crisis W/0 management*)) AND TITLE (management W/0 system*)) OR ((KEY (disaster W/0 management) OR KEY (crisis W/0 management*)) AND KEY (management W/0 system*)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI"))	243
SUB ÁREA (EXCLUSÃO)	Exclusão dos trabalhos com participações em algumas áreas. Exemplos como biologia, medicina e psicologia.	((TITLE (disaster W/0 management) OR TITLE (crisis W/0 management*)) AND TITLE (management W/0 system*)) OR ((KEY (disaster W/0 management) OR KEY (crisis W/0 management*)) AND KEY (management W/0 system*)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (EXCLUDE (SUBJAREA , "MATH") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "SOC I") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "BUSI") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "CENG") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "ARTS") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "HEAL") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "BIOC") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "MEDI") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "PHAR") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "PHYS"))	167

Fonte: O Autor.

Após todo o processo descrito, os trabalhos resultantes foram adicionados no gerenciador de referências Mendeley (www.mendeley.com). A ferramenta foi escolhida principalmente por fornecer diversos recursos que apoiam a pesquisa, como: fácil visualização dos principais campos que identificam o trabalho; classificação e organização em diretórios; sincronização e compartilhamento; e banco de dados com SQL, permitindo integrações externas caso necessário.

O processo seguinte, com apoio da ferramenta, foi analisar cada documento de acordo com o título, palavras chave, autores de referência e resumo. A análise dos metadados visa correlacionar os trabalhos com o cenário de GD e Interoperabilidade, facilitando o descarte dos documentos não aderentes ao tema. A análise resultou na aprovação de aproximadamente metade dos trabalhos diretamente relacionados com o tema, com 81 documentos aprovados e 86 reprovados, como mostra o percentual na Figura 27.

Figura 27 – Percentual de Aprovação/Reprovação



Fonte: O autor.

É importante ressaltar que a seleção manual considerou a pertinência do tema com os fatores adicionais a serem tratados no trabalho, como aspectos relacionados a interoperabilidade e avaliação de práticas e sistemas. Os artigos aprovados serão utilizados como base de conhecimento para estruturar o presente trabalho. O principal objetivo da obtenção da biblioteca é ter parâmetros para identificar os principais requisitos utilizados no gerenciamento de desastres. Do grupo final, também é possível identificar os principais autores com maior quantidade de publicação, como mostra o Quadro 5.

Quadro 5 – Principais autores selecionados.

Autor	Trabalhos
frédérick bénaben	5
marina tropmann-frick	4
anne marie barthe-delanoë	3
christian neuhaus	3
hervé pingaud	3
sakkaravarthi ramanathan	3
bernhard thalheim	3
sébastien truptil	3
mohammad b. Abdijabar	2
zubaida alazawi	2

Fonte: O autor.

Todo o processo realizado nessa etapa do trabalho não garante que todo o material necessário esteja contemplado nos documentos selecionados. Dessa forma, a presente revisão de literatura serve como base para construção do conjunto de requisitos sobre o tema gerenciamento de desastres. Os dados obtidos poderão ser modificados de acordo com as demais etapas da pesquisa, e estes apresentados ao decorrer do trabalho.

Além dos documentos obtidos através da RSL, outros poderão ser acrescentados em nossa base ao decorrer da pesquisa. Estes novos são na maioria das vezes trabalhos considerados pertinentes devido as necessidades encontradas, obtidos através de indicações, especialistas participantes, autores sugeridos ou temas apoiadores utilizados ao decorrer da pesquisa.

3.2 BASE CONCEITUAL

3.2.1 Desastre

Um desastre é um evento destrutivo que possui vítimas como resultado (De Boer, 1995; Rutherford e De Boer, 1983). Seu impacto geralmente é classificado em dois modos: direto e indireto. O impacto direto dos desastres inclui ferimentos humanos, danos às instalações e perdas de equipamentos (Asgary et al., 2012; Rose, 2009). Já o impacto indireto está voltado para as operações negociais, como reduções do valor de propriedades, flutuações do mercado de ações e possíveis efeitos sociais e ambientais (Rose, 2009). Os desastres podem ocorrer como resultado de condições imprevisíveis ou riscos subestimados, sendo proveniente de causa natural, acidente técnico ou falha de sistema (Anthopoulos et al., 2013).

A capacidade de prevenção em desastres ainda é um ideal distante devido a diversidade de fatores e inconstâncias. Assim, a capacidade de uma organização de se recuperar de um desastre é muito crítica (Yang et al., 2015). Neste cenário o fator “comunicação” é amplamente considerado como a principal tratativa para minimizar as dificuldades em todas as etapas do DM. A comunicação é a base comum para executar a resposta de emergência, sendo melhor abordada a partir de uma perspectiva sistêmica, considerando todos os fluxos direcionais de informações, instruções e anúncios (Badiru e Racz, 2013).

Existem protocolos que definem uma estrutura sistemática para comunicação, cooperação e coordenação no DM. Na maioria objetivam a melhora da comunicação principalmente na mitigação de problemas logísticos posteriores a desastres ou eventos extremos, considerando também os fatores humanos. Tais protocolos descrevem quando algo deve ser realizado, assim como mapeiam os recursos necessários para cada situação. A comunicação está ligada em diversas ações do DM, como na divulgação de um plano de

evacuação, captação de informações de sensores e previsão de fluxo de rios (em cenário específico de inundações). De maneira geral o DM engloba uma infinidade de fatores amplamente conhecidos e conseqüentemente com ações predefinidas. O problema é que se todos os atuantes (humanos ou sistemas) não tiverem uma integração adequada, as chances de sucesso são drasticamente reduzidas.

Tufekci e Wallace (1998) afirmam que a resposta a desastres tem suas atividades separadas por fases. Inicialmente são classificados dois estados de atuação: pré evento e pós evento. O primeiro inclui a previsão e análise de perigos potenciais e o desenvolvimento de planos de ações necessários para a mitigação. Já o pós evento é iniciado enquanto o desastre ainda está em andamento, onde o desafio é localizar, alocar, coordenar e gerenciar os recursos disponíveis. Um plano eficaz de resposta a emergências deve integrar ambas as etapas dentro de seu objetivo, pois separar os objetivos pré e pós pode levar a soluções abaixo do ideal para o problema geral.

Para permitir que as etapas descritas possam ser integradas, Atlay e Green (2006) descrevem um ciclo com quatro passos para interligar as fases. O ciclo abrange todas as ações descritas na classificação de Tufekci e Wallace (1998), ao mesmo tempo em que fornece uma visão mais focada das ações de gerenciamento de desastre – não apenas na resposta (Waugh, 2000). A mitigação (1) é a aplicação de medidas que irão prevenir o aparecimento de um desastre ou reduzir os impactos na ocorrência de um. As atividades de preparação (2) organizam a comunidade para responder a um desastre. A resposta (3) é o emprego de recursos e procedimentos de emergência, orientados por planos para preservar a vida, a propriedade, o meio ambiente e a estrutura social, econômica e política da comunidade. A recuperação (4) envolve as ações tomadas a longo prazo após o impacto imediato do desastre ter passado para estabilizar a comunidade e restaurar alguma aparência de normalidade. O Quadro 6 mostra as atividades típicas de cada etapa do GD.

Quadro 6 – Ciclo de Gerenciamento de Desastres

Etapas	Atividades típicas do gerenciamento de operações de desastres
Mitigação	controle de zoneamento e uso da terra para evitar a ocupação de áreas de alto risco; padrões de construção para melhorar a resistência das estruturas; realização de seguros para reduzir o impacto financeiro; incentivos fiscais; e constantes análises para medir o potencial de risco.
Preparação	recrutamento de pessoal; planejamento de emergência; desenvolvimento de acordos de ajuda mútua e memorandos de protocolos; treinamentos para envolvidos e interessados; educação pública; manutenção de suprimentos de emergência; desenvolvimento de sistemas de comunicação; e simulações de situações de emergências.
Resposta	ativação plano de emergência; ativação do centro de operações; evacuação de áreas de risco; abertura de abrigos e prestação de cuidados em massa; atendimento

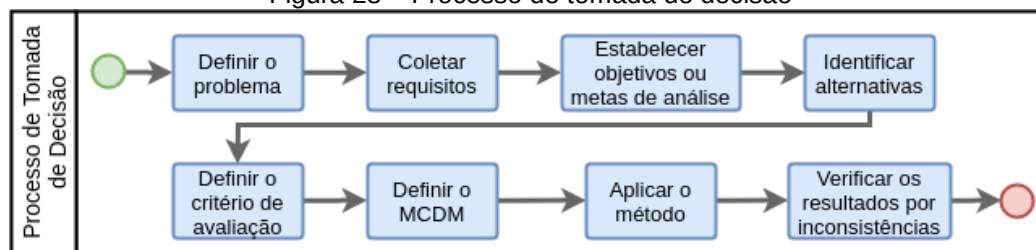
	médico; buscas e salvamento de pessoas em risco; recuperação de serviços essenciais; e gestão de fatalidades.
Recuperação	assistência financeira a indivíduos e governos; reconstrução de estradas e pontes e principais instalações; cuidados sustentados para populações deslocadas; limpeza de detritos de desastre; e restauração total dos serviços;

Fonte: Atlay e Green (2006).

3.2.2 MCDM

A presente seção visa identificar os principais métodos multicritério para apoio à tomada de decisão e análise (MCDM/A Multi Criteria Decision Making/Analysis), que serão adotados na pesquisa para apoiar as avaliações e diagnósticos. O MCDM é utilizado desde os anos 60 para auxiliar a tomada de decisão nos mais diferentes setores, como educação, construção e transporte. As atividades de classificação, seleção e avaliação podem ser muito bem desempenhadas com a utilização desse tipo de método (Alias et al., 2008). Na Figura 28, Cestari (2015) apresenta o processo base de tomada de decisão.

Figura 28 – Processo de tomada de decisão



Fonte: Adaptado de Cestari, 2015.

Existem diversos métodos para apoiar a execução do processo, muitos com ferramentas que facilitam ainda mais sua implementação. Os métodos AHP/ANP e PROMETHEE foram selecionados na pesquisa por apresentar a proposta mais aderente com o objetivo. Estes são apresentados a seguir.

3.2.2.1 AHP

O método AHP (Analytic Hierarchy Process) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty (Saaty, 2003). Caracterizado como um dos principais métodos do tipo MCDM, basicamente permite estruturar o contexto a ser aplicado em forma de hierarquia através da inserção do objetivo, critérios, sub critérios e alternativas. A comparação é realizada em pares através de uma escala fixa que leva o nome de seu autor (Saaty).

Constitui um método que visa estruturar hierarquicamente os problemas em: objetivo, critérios, sub critérios e alternativas. Neste modelo, os critérios e subcritérios são comparados aos pares em uma escala que varia de 1 a 9 (escala Saaty). Após as comparações é executado uma sequência de cálculos que irão permitir identificar os pesos relativos

previamente configurados. É possível identificar também importantes valores, como o fator de inconsistência, que mostra o grau de conformidade das decisões tomadas. Esse tipo de validação impede que os critérios utilizados sejam pertinentes durante a avaliação, dando mais credibilidade para o processo (Saaty, 2003).

Com o método devidamente estruturado é possível realizar a avaliação, resultando em um ranking de acordo com os critérios utilizados, além de possibilitar a visualização dos percentuais para cada uma das alternativas consideradas. A ferramenta Super Decisions, também de autoria de Saaty, traz uma interface que permite a fácil utilização do método, inclusive com o devido funcionamento do ANP (Analytic Network Process). Este considera o problema de decisão como dependente de uma rede de critérios, permitindo uma avaliação de todo o contexto ou estruturas específicas. Em resumo, enquanto o AHP compara somente alternativas em relação a um objetivo principal, o ANP confronta alternativas com relação a diferentes grupos de fatores de níveis distintos, formando uma complexa rede de comparações. Tal estrutura exige mais esforço, porém com resultados mais precisos.

O AHP é mais aconselhado nos casos em que há uma certa dificuldade para quantificar e comparar os elementos utilizados na decisão (Saaty, 2003). No caso de avaliação da interoperabilidade essa complexidade é ainda maior, uma vez que são considerados diferentes terminologias e perspectivas, necessitando de uma percepção fortemente tácita. Nesse contexto temos uma visão abstrata dos elementos, com poucas possibilidades de valoração, exigindo uma avaliação qualitativa. Como os requisitos de gerenciamento de desastres também apresentam dificuldades para ponderação de valores, o AHP se torna um método adequado para modelagem e avaliação voltada para a interoperabilidade em suas diferentes perspectivas (estratégia, processos, informação e tecnologia).

3.2.2.2 Dematel

Do inglês *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*, o Dematel é uma abordagem MCDM originada no Centro de Pesquisa de Genebra do Battelle Memorial Institute (Fontela e Gabus, 1976). Constitui um conjunto de atividades que visa solucionar problemas complexos envolvendo relações de influências entre múltiplos fatores. Desenvolvido entre 1972 e 1979, o método é amplamente aceito como uma das melhores ferramentas para resolver a relação de causa e efeito entre critérios de avaliação (Sumrit e Anuntavoranich, 2013).

De acordo com Falatoonitoosi et al. (2014), um dos principais motivos de seu sucesso está na possibilidade de mostrar graficamente as relações entre fatores, suas intensidades e o grau de influência fornecida, recebida e resultante no sistema. A teoria dos “grafos” está empregada na sua lógica principal, que tem como definição que uma melhoria em um fator

causa poderá impactar significativamente na melhoria dos fatores efeitos. Tal tipo de visualização permite que possíveis melhorias no cenário possam ser avaliadas através de uma simulação. Dessa forma fica mais fácil identificar os pontos que realmente vão contribuir com a melhora do cenário.

De acordo com Yang et al. (2015) os especialistas do cenário de gerenciamento de desastres são compreensivelmente limitados, uma vez que tal ambiente pode ter seu comportamento instável, dificultando a compreensão. O mesmo autor apresenta em uma de suas pesquisas o emprego do Dematel para identificar as influências dos fatores considerados em sua identificação em DM. O processo aplicado no presente trabalho executa algo similar nesta etapa, mas com as considerações obtidas sobre o ambiente através de seu próprio levantamento.

Sumrit e Anuntavoranich (2013) definem a aplicação do método de forma processual, tendo como início uma avaliação de especialista para correlacionar o grau de influência entre os atributos. Após aplicar alguns cálculos (como normalização, quantificar a influência e calcular a intensidade dos efeitos provocados e recebidos) é possível identificar três grupos básicos resultantes: atributos *mais influentes*, *mais influenciados* e *mais ativos* - listados no Apêndice D. O método pode converter sistemas complexos em uma estrutura clara que simplifica as inter-relações entre os fatores considerados facilitando a localização dos principais problemas e quantificando sua causalidade e influência (Lee et al., 2013; Zhou et al., 2011).

3.2.2.3 PROMETHEE

Segundo Gomes et al. (2002), o PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Evaluation) faz parte do grupo de métodos de classificação com multicritérios de avaliação, sendo exposto originalmente por Jean-Pierre Brans, em 1982. O método se baseia em relações de subordinação, levando em conta alguns elementos, como pesos dos critérios, índice de preferência do decisor e funções de preferências. O PROMETHEE é um método de superação, que consiste em construir uma relação binária muito particular entre as alternativas em análise (Schärlig, 1996; Vincke, 1989).

Uma boa ferramenta para suporte ao desenvolvimento do método é o Visual PROMETHEE (VP Solutions, 2013). Os parâmetros do modelo a serem inseridos no software contemplam: alternativas, critérios, cenários e pesos dos critérios. Para cada um dos níveis é possível indicar a preferência e indiferença, funções de preferência, entre outros. Tal cenário permite avaliar elementos diferentes da proposta definida no AHP, sendo favorável em uma modelagem de informação com propriedades mais quantitativas e valoradas. Este cenário contempla a necessidade identificada para a verificação da arquitetura de referência, aplicada

através da avaliação dos requisitos frente as perspectivas tecnológicas e referenciais normativos.

4 CONCLUSÃO

A pesquisa dedicou-se ao processo de avaliação de entidades/localidades que atuam no gerenciamento de desastres através de estrutura proposta DIAM, considerando um ciclo de avaliação com diferentes processos estruturados nos métodos AHP, Dematel, ANP e PROMETHEE. Tal ciclo foi suportado por um modelo de estratégia de pesquisa em notação IDEF0 que detalhou todas as atividades, fases, recursos e mecanismos envolvidos na construção do conhecimento envolvido e suporte ao espaço de avaliação proposto.

Uma análise relacional foi conduzida para abordar a análise de requisitos de gerenciamento de desastres que lidam com as perspectivas de interoperabilidade. O total de 127 atributos foram divididos em requisitos funcionais, não funcionais e soluções técnicas, que permitiu a aplicação de dois passos do modelo QFD. Essa etapa foi desenvolvida em paralelo com uma pesquisa de mestrado sob escopo do projeto maior, que tem como objetivo fornecer uma arquitetura de referência para gerenciamento de desastres. Na concepção dos atributos, houve também a participação de um terceiro participante do projeto, que forneceu atributos voltados para mobilidade, uma vez que seu trabalho está focado em um Sistema de Medição de Desempenho de Mobilidade.

Assim o IRM, matriz concebida para apoiar o processo, fez o mapeamento dos FR-R em DM relacionados com as perspectivas de interoperabilidade fundamentadas no EIF de Chen. O IRM atuou como uma ferramenta de suma importância na concepção da estrutura AHP e Dematel do DIAM, permitindo um diagnóstico das diferentes visões da organização - desde o nível estratégico até uma visão granular sobre as capacidades de gerenciamento de desastres. Tais diagnósticos puderam ser melhorados com a aplicação do ANP, que pode mesclar os resultados obtidos anteriormente em uma análise com diferentes níveis de relacionamentos. Após cada diagnóstico obtido foi possível, através do DIAM PROMETHEE, quantificar o grau de importância de cada TS existente de acordo com os déficits gerados na avaliação. Tal processo faz com que a arquitetura seja revisitada em coerência às capacidades diagnosticadas da entidade em sua atuação em DM.

A aplicação inicial em uma importante empresa de TIC do sul do Brasil, que atua no setor de tecnologia da informação e comunicação municipal, resultou em relevantes informações para a instituição, além de perspectivas promissoras sobre a aplicabilidade do modelo. Capacidades frágeis e desconhecidas pela instituição puderam ser destacadas pela corroboração entre DIAM e especialistas, facilitando a percepção dos pontos fracos pelos diretores da organização em cenários de gerenciamento de desastres. Além disso, a análise de influência (sensibilidade) dos requisitos de DM identificados no nível de maturidade global da empresa, deu um apoio preliminar para uma agenda local de esforços públicos e privados para enfrentar as barreiras municipais.

Foi demonstrado que o gerenciamento de desastres deve estar diretamente ligado às questões de interoperabilidade, permitindo uma operação integrada de todas as entidades envolvidas durante um evento. Assim o modelo proposto de avaliação da interoperabilidade, identifica a potencial interoperação em um ambiente de gerenciamento de desastres. O modelo que propõe um ciclo de desenvolvimento DMS, teve como base um conjunto de especificações de arquitetura de referência (FR-R e TS) e um modelo de diagnóstico de interoperabilidade (FR-R e I).

O ciclo proposto, promove uma revisão, avaliação e melhoria da arquitetura de referência para a realidade da entidade analisada com relação às suas capacidades de interoperabilidade em cenários de DM. Uma fase de modelagem de diagrama SysML também foi considerada para suportar especificações DMIS com ênfase especial na DM e modelagem de exigência de interoperabilidade, bem como comportamento complexo em relação à dinâmica de resposta a desastres. Estes focos são do projeto de mestrado da pesquisa (A) mostrada na Figura 1.

O diagnóstico relativo à fase final do DIAM, envolvendo as perspectivas TS e I, contemplou o resultado diagnóstico identificado como FR-RW, que trouxe os pontos mais fracos identificados na avaliação. Isso contribui com a revisão da arquitetura criada, tendo como base o método PROMETHEE. Para tal foi utilizado a dimensão TS-F juntamente com os atributos fracos identificados na fase diagnóstica (FR-RW) como principal entrada para o método. Após devida execução das etapas padrões do método foi possível obter a priorização da arquitetura para melhor atendimento em DM para o diagnóstico obtido. A priorização também pode ser aproveitada na reestruturação da arquitetura de referência utilizada no framework, maior destacada na Pesquisa A.

As futuras aplicações do framework podem estar relacionadas a outras entidades públicas/privadas (defesa civil, bombeiros, engenharia de tráfego) envolvidas em iniciativas de gerenciamento de desastres. Uma visão mais ampla das capacidades de gerenciamento de desastres das cidades brasileiras poderá ser vislumbrada. Tais aplicações contribuirão com o amadurecimento do framework proposto contribuindo a melhora contínua do ambiente de gestão de desastres.

REFERÊNCIAS

- [1] Alias, M. A., Hashim, S. Z. M., & Samsudin, S. (2008). Multi Criteria Decision Making and Its Applications: A Literature Review. In *Asia-Pacific Journal of Information Technology and Multimedia, Jurnal Teknologi Maklumat*, Vol. 20, N° 2, pp.129–152.
- [2] Anthopoulos, L. G., Kostavara, E., & Pantouvakis, J. P. (2013). An Effective Disaster Recovery Model for Construction Projects. *Procedia* 2013, 74, 21–30.
- [3] Asgary, A., Anjum, M. I., & Azimi, N. (2012). Disaster recovery and business continuity after the 2010 flood in Pakistan: Case of small businesses. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 2012, 2, 46–56.
- [4] Atlay, N., & Green, W. (2006). OR/MS research in disaster operations management, *European Journal of Operational Research*, vol 175, 2006, pp. 475–493.
- [5] Barthe-Delanoë, A., Bénaben, F., Carbonnel, S., & Pingaud, H. (2012). Event-Driven Agility of Crisis Management Collaborative Processes, *Proceedings of the 9th International ISCRAM Conference – Vancouver, Canada, April 2012*.
- [6] Badiru, A. B., & Racz, L. (2013). *Handbook of Emergency Response: A Human Factors and Systems Engineering Approach*. ISBN 9781466514560, August 22, 2013 by CRC Press, pp.57-175.
- [7] Bordini, G. A. (2015). *Contribuição para a Formalização de um Modelo de Avaliação de Interoperabilidade na Cadeia de Suprimentos do Setor Automotivo*. Curitiba, 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- [8] Cestari, J. M. A. P. (2015). *A Contribution to Interoperability Capability Diagnosis in Public Administration Domain*. Curitiba, 2015. 364p. Thesis - Pontifical Catholic University of Parana. Curitiba, Curitiba, December 10, 2015.
- [9] Cestari, J. M. A. P., Loures, E. R., & Santos, E. A. P. (2013). Interoperability Assessment Approaches for Enterprise and Public Administration. In: Demey, Yan Tang; Panetto, Herve (Eds.). (Org.). *OTM Industry Case Studies*. 1ed.: SPRINGER Lecture Notes in Computer Science, 2013, v. 8186, p. 1-759.
- [10] Chen, D. (2006). Framework for Enterprise Interoperability. In book: *Interoperability for Enterprise Software and Applications: Proceedings of the Workshops and the Doctorial Symposium of the Second IFAC/IFIP I-EISA International Conference: EI2N, WSI, IS-TSPQ 2006*, pp.77 – 88. DOI: 10.1002/9780470612200.ch6.
- [11] Cook, D. J., Murlow, C. D., & Haynes R. B. (1997). Systematic reviews: Synthesis of best evidence for clinical decisions. *Annals of Internal Medicine*, v. 126, n. 5, p. 376, 1997.
- [12] De Boer, J. (1997). An introduction to disaster medicine in Europe. *J. Emerg. Med.* 1995, 13, 211–216.
- [13] EIF, CompTIA (2006). European Industry Association. *European Interoperability Framework - ICT Industry Recommendations*, 2006. Retirado de <http://www.comptia.org>.
- [14] Falatoonitoosi, E., Hmed, S., & Sorooshian, S. (2014). Expanded DEMATEL for determining cause and effect group in bidirectional relations. *The Scientific World Journal*, v. 2014, 2014.
- [15] Fontela, E., & Gabus, A. (1976). *The DEMATEL Observer*; Dematel, Battelle Geneva Research Center: Geneva, Switzerland, 1976
- [16] Gomes, L. F. A. Monteiro, Gomes, C. F. S., & Almeida, A. T. (2002), *Tomada de Decisão Gerencial Enfoque Multicritério*. São Paulo: Editora Atlas.
- [17] Guédria, W., Golnam, A., Naudet, Y., Chen, D., & Wegmann, A. (2011). On the use of an interoperability framework in coopetition context. In the 21st Nordic Workshop on Interorganizational Research. Vaasa, Finland, 2011.

- [18] Guédria, W., Chen, D. & Naudet, Y. (2009). A Maturity Model for Enterprise Interoperability, in Proc. of the 4th IFAC/IFIP, OTM workshop, EI2N'09 (Enterprise Integration, Interoperability and Networking), Portugal, November 2009.
- [19] Lee, S. G., Chae, S. H., & Cho, K. M. (2013). Drivers and inhibitors of SaaS adoption in Korea. *Int. J. Inf. Manag.* 2013, 33, 429–440.
- [20] NIST, Integration Definition for Functional Modeling (IDEF0) (1993). FIPS Publication 183, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1993. Acessado em 14 de julho de 2016 <<http://www.idef.com/idefo>>.
- [21] Saaty, Rozann W. (2003). Decision Making in Complex Environments. Acessado em 25 de Novembro de 2016 <<http://www.croce.ggf.br/dados/Tutorial%20superdecisons.pdf>>.
- [22] Salmon, Kurt (2011). Oncology Networks: Best Practices A Study of Governance, Resources and Clinical Coordination. 2011. Acessado em 28 de Outubro de 2016 <http://www.hospital100.com/hospital100/files/Kurt_Salmon_Oncology_Networks_Best_Practices.pdf>.
- [23] Rose, A. Z. (2009). A framework for analyzing the total economic impacts of terrorist attacks and natural disasters. *J. Homel. Secur. Emerg. Manag.* 2009, 6, 1–26. *Sustainability* 2015, 7 6184.
- [24] Rutherford, W. H., & de Boer, J. (1983). The definition and classification of disasters. *Injury.* 1983, 15, 10–12.
- [25] Schärli, Alain (1996). *Pratiquer Electre et Prométhée. Un complément à Décider sur plusieurs critères.* Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Collection Diriger l'Entreprise 11.
- [26] Sumrit, D., & Anuntavoranich, P. (2013). Using DEMATEL method to analyze the causal relations on technological innovation capability evaluation factors in Thai technology-based firms. *Int Trans J EngManagApplSciTechnol*, v. 4, n. 2, p. 081-103, 2013.
- [27] TRIP, Transport Research & Innovation Portal (2015). DECIDE - Decision Support System for Disaster Emergency Management. 2015. Acessado em 15 de setembro de 2015 <http://www.transport-research.info/web/projects/project_details.cfm?id=48018>.
- [28] Tufekci, S., & Wallace, W. A. (1998). The emerging area of emergency management and engineering. *IEEE Transactions on Engineering Management* 45 (2), 103–105.
- [29] Vincke, Philippe (1989). *L'Aide Multicritère à la Décision.* Bruxelles: Editions de l'Université de Bruxelles, Collection Statistique et Mathématiques Appliquées.
- [30] VP Solutions (2016). Visual PROMETHEE 1.4 – Manual and Help file. 2013. Acessado em: 28 de novembro de 2016 <<http://www.promethee-gaia.net/files/VPManual.pdf>>.
- [31] Waugh, W. L. Jr. (2000). *Living with Hazards, dealing with Disasters: An Introduction to Emergency Management.* M.E. Sharpe, Armonk, NY.
- [32] Yang, C., Benjamin, J. C. Y., & Huang, C., (2015). Key Determinant Derivations for Information Technology Disaster Recovery Site Selection by the Multi-Criterion Decision Making Method. *Sustainability.* 7. 6149-6188. 10.3390/su7056149.
- [33] Zhou, Q., Huang, W., & Zhang, Y. (2011). Identifying critical success factors in emergency management using a fuzzy DEMATEL method. *Saf. Sci.* 2011, 49, 243–252.

APÊNDICE A – ARTIGO ISERC

Proposal of a Framework for a Disaster Management System

Anderson Foggiatto¹, Daniel Avanzi^{1,2}, Eduardo de Freitas Rocha Loures^{1,3}, Fernando Deschamps^{1,4}

¹ Industrial and Systems Engineering Graduate Program, Pontifical Catholic University of Parana – Curitiba, Brazil

² Instituto Curitiba de Informática, Curitiba, Brazil

³ Federal University of Technology - Parana – Curitiba, Brazil

⁴ Department of Mechanical Engineering, Federal University of Parana – Curitiba, Brazil

Abstract

During a disaster, the more coordinated the response, the lesser its impacts are. One of the factors that has a major influence in response coordination is the interoperability among involved actors – public and private entities that interact to exchange information through the communication of people and systems. This factor is critical because it allows an efficient and effective mobilization of available resources towards reducing the effects caused by an event. This work proposes a framework for the development of Disaster Management Systems (DMS) that promote real time communication (information flow and process coordination) among different involved entities, primarily focusing on interoperability in its different levels. This framework is based both on a literature review of scientific works and a survey of worldwide initiatives related to improving disaster response. The main components of the related framework architecture are an SDK (software development kit), a common relational database, multiple communication platforms (e.g., a Web portal and a mobile app), and low-cost hardware to better collect and make needed information available quickly and accurately.

Keywords: disaster management, interoperability, disaster management system, disaster response

1. Introduction

Imagine the following situation: the notification of a large crash on a highway simultaneously arrives at more than one police or fire departments at the same time, either by SMS or phone. All of these police or fire departments register the event in their own database systems, which are not integrated. The result most likely will be:

- more than one response team being sent to the crash area to attend any casualties; and
- compromised mobility at the site, by the concentration of response teams' vehicles in a small area.

This is a hypothetical situation that actually came to reality in the city of Witten, Germany. A small fire occurrence mobilized many emergency teams from cities nearby. There were so many firefighter's trucks and police cars near the event site that it was necessary to create a special plan to remove all vehicles in order to establish a normal traffic flow for the city and to better respond to the incident. This situation illustrates how

important information flow and integration among different stakeholders involved in the response to an incident are.

In most countries, officers and volunteers involved with disaster response use only land lines, mobiles phones or radios to receive/transmit disaster notifications and dispatch response teams [1]. There is minimal use of automatic or computer-supported/aided disaster management systems and people play a central role in identifying potential situations and informing all interested parties. Additionally, there is seldom a way to detect the proximity of a disaster, when possible, to try to minimize its impacts – either because of the lack of information or the data required is spread through different sites or systems and is not analyzed in a joint manner [2].

The problem described in the previous paragraphs is an interoperability problem. Interoperability is considered the capacity that two or more systems have to collaborate, exchanging information and coordinating actions. Interoperability, hence, is an important characteristic for a disaster management system. Today, there are different tools and technologies that could be used to increase interoperability, guaranteeing a good communication among stakeholders involved in disaster management and better organizing information, making it accessible to all. These technologies, when used in the correct manner, are likely to increase the effectiveness of disaster response.

This work proposes a framework for disaster management that enhances interoperability, presented in Section 4. For this to be possible, different existing frameworks related to disaster response are examined in Section 3, as well as the literature on disaster management and interoperability is reviewed in Section 2. It is hoped that this framework may serve as the basis for the definition of the architecture of different disaster management systems that integrate the efforts of responders and consolidates information related to disaster management activities.

2. Review of Literature

Literature regarding disaster management and interoperability was reviewed and is presented next.

2.1 Disaster Management

The management of activities in disaster situations primarily focuses on three key aspects: the protection of lives, property and the environment. Disasters may be classified as natural or human-caused. The first category encompasses events like earthquakes, floodings, storms, hurricanes, tornadoes, cyclones and forest fires. The second category encompasses events such as the collapse of buildings, airplane crashes and fires in buildings. It must be noted that regardless of the category of the disaster, it is a huge challenge for emergency services to mitigate such situations in an efficient and coordinated manner [3].

Information is an essential asset when it comes to handling different types of disasters in a rapid and coordinated way. Police, fire, health, civil defense and other organizations need to be efficient when they work not only individually, but also in a coordinated manner, considering the inter and intra organizational aspects, in addition to different hierarchical levels [4]. Some authors argue that the response to a disaster requires a task force in an attempt to predict how the situation will unfold or solve any issue mainly through the management and integration of involved parties [5].

Coordination requires that the information is updated, requiring real-time communication. For that to occur, the support of Information and Communication Technology (ICT) systems integrated in disaster management is required, making the exchange and processing more efficient and safe [4]. Considering the fact that an ICT system is a visible part of an organization, many collaboration and communication issues may be addressed through the use of technology, particularly through the implementation of a Mediation Information System (MIS) based on a Service Oriented Architecture (SOA) to allow the exchange of information between stakeholders [6].

In this regard, Crisis Information Management Systems (CIMS) have been part of the prevailing concept of a MIS for disasters and emergencies. Its purpose is to provide a complete set of ICT functions to address the many needs of the actors in disaster management. There are other terms, such as Critical Incident Management System (also CIMS), Disaster Management Interoperability System (DMIS), and Incident Management Systems (IMS), but CIMS is emerging as the preferred term for the entities that need to have such a system to meet the main needs regarding to the management of a disaster, especially in the exchange of information, allowing for joint and coordinated action of those involved [7]. Some of the actions performed by such systems are [8]:

- assess the situation in the beginning and during the disaster;
- start, maintain and control communications;
- identify the incident management strategy, developing an action plan with existing resources;
- request additional resources;
- develop an organizational command structure;
- continually review action plans;
- provide continuation, transfer and termination of a call.

For disaster management to occur properly, it is required that the exchange of data between organizations is updated in real time [4]. The efficiency of the response is determined by the speed and precision that information can be managed and exchanged between partners (organizations, people, and devices involved in the collaboration). Thus, the main goal of a framework for a disaster management system should be to address the problems of collaboration of organizations through the use of interoperable systems that meet business requirements [5].

2.2 Interoperability

Interoperability is defined by the European Commission as a broad concept encompassing the ability of organizations to work together in pursuit of common and mutually beneficial goals [9]. Interoperability concepts allow an assessment of attributes related to those involved, resulting in the actual capacity of communication between them. This ability to interoperate can be affected by conceptual, technological and organizational barriers [11]:

- Conceptual: syntactic and semantic differences in the exchange of information., usually associated with a high level of abstraction.
- Technological: incompatibility of information and systems.
- Organizational: directly related to behavioral factors of the organization, such as business processes.

One of the main activities related to enhancing interoperability is the identification of the best assessment method for each type of situation, allowing the measurement of the degree of interoperation between entities (Enterprise Interoperability Assessment - EIA), which in turn helps the specification of integrated solutions in the field. This type of evaluation identifies strengths and weaknesses, enabling the prioritization of actions in order to enhance interoperability performance and maturity [10]. There are some models of Interoperability Maturity Models (IMMs), resulting in the potential degree of interoperation and may be in relation to another entity (a posteriori) or not (a priori) [11].

However, even with the support of EIA, applying interoperability concepts in an organizational environment is not a trivial activity, and even more complicated in the public sector, since the complexity, barriers and variables of a government organization can be different from those found in private companies. The best definition of the activities to be taken are often specified in interoperability frameworks, which define standards and best practices aiming at the success of organizational interoperability. According to the EIF framework, the interoperability architecture of an organization is not static, and over time, according to technologies, standards and requirements may be modified to better fit its needs [12].

3. Related Works

Among several initiatives, this paper highlights some of the most relevant for disaster management and interoperability.

3.1 DECIDE (04/2015 - 06/2016) - Decision Support System for Disaster Emergency Management (Greece)

DECIDE aims to support emergency situations arising from both natural and human causes by enabling authorities to enhance their resource use capacity and contributing to the prevention of problems. Its premise is that actions needed to handle a disaster are not performed effectively, failing to engage different parts of the solution and seldom creating preventive actions. To address this issue, DECIDE proposes an Intelligent Decision Support System (IDSS), which promotes increased efficiency and managerial skills of local authorities and stakeholders to respond effectively to natural and human disasters, with specific goals like [13]:

- use of innovative technologies strengthening the capacity of local authorities for effective and efficient coordination in the prevention and response processes against risks;
- strengthen the capacity of local society to take immediate action in critical moments of an emergency event, often preventing the expansion to a larger disaster, considering all sectors that can contribute to the control of the event, such as public authorities, non-governmental organizations, volunteers, the private sector and media, among others;
- reach everyone involved through training and information sharing; and
- contribute to economic and social development of the regions involved, in a safe, effective and affordable way.

The proposed IDSS supports: civil protection units; routing in emergency situations; recommendations for optimization measures considering a cost/efficiency analysis; GIS-based network (Geographic Information System) and risk mapping; definition of roles and responsibilities; alerts and warnings; management scenarios and users; and different user interfaces (Web-based, smartphone-based, and others).

3.2 SAVE ME (10/2009 - 09/2012) - System and Actions for Vehicles and transportation hubs to support Disaster Mitigation and Evacuation (United Kingdom)

SAVE ME aims at developing a system that detects natural and human-caused disasters throughout the transportation infrastructure, with a strong focus on evacuation, in order to preserve the lives of all those involved. It considers special cases, such as children, the elderly and even disabled, which may have greater difficulty in these situations [14].

SAVE ME is based on a common ontological framework for hazard recognition, classification and mitigation, innovative algorithms on human behavior, standardization of elements of human intuition and other holistic visions of disaster management. It uses a Wireless Sensor Network with a fault tolerant communication network infrastructure for emergency detection, environmental awareness and travelers position and movements monitoring. This information is used in a real-time data simulator along with a Decision Support System, which results in actions to be taken in disaster mitigation.

SAVE ME is also concerned with the training of those involved, providing content and tools for operators, rescuers and the general public. It also provides guidelines to infrastructure/vehicle operators and designers, and standardization measures for policy makers. Studies related to the use of SAVE ME in the United Kingdom have shown that:

- it generated an ideal evacuation plan for every traveler class, providing 98% of accurate information to users;
- 96.5% of emergency events detected by the Wireless Sensor Network (WSN) were transmitted to the system Decision Support (DSS) within 60 seconds;

- it detected 100% of travelers and rescuers with a location module indoors;
- 95% of respondents state that the system could improve the general procedure for passenger evacuation in emergencies, and 60% reported that it would change the way they would behave if faced with an emergency situation; and
- 26% of respondents specifically highlighted the effectiveness of its Collective Herding Guidance Screen.

3.3 SAFETRIP (10/2009 - 03/2013) - Satellite application for emergency handling, traffic alerts, road safety and incident prevention (France)

The overall objective of SAFETRIP is to improve the use of road transportation infrastructure and alert systems, mainly through information on prevention and intervention in case of incidents, providing an integrated data capture for greater safety of those involved. SAFETRIP contributes directly to the concepts involved in the safety of road transportation, resulting in the reduction of road deaths and environmental protection [15]. The main contributions of the initiative are:

- an integrated platform that allows any company to develop applications for the road market;
- innovative satellite technologies and communication features, mainly through precise satellite positioning (GPS/EGNOS/GALILEO) and two-way data communication via satellite; and
- integration into vehicles of a device called “Greenbox” that offers universal two-way communication for emergency and disaster recovery situations.

4. Disaster Management System (DMS) Framework

This section presents the proposed framework for the development of a Disaster Management System (DMS) based on the review of the literature and the analysis of related works aimed at providing a greater degree of effectiveness in disaster management. During the literature review it was found that there are some indispensable features for such a system like: interoperability between modules, use cases modeling, Web-based user interface, continuous operation, different access levels, and data integrity. There are also desirable but at first dispensable features such as access to GIS information, quick reports, and spatial querying, among others. The proposed framework guides the conception of a DMS to make use of low cost software and hardware resources, and provide a more efficient way to establish integrated communication between stakeholders involved in a disaster online and in real-time.

Through a modular approach, new modules could be included or removed according to necessity. An engine working 24/7 could detect and automatically prevent a hazard or send actions items for the interested parties. Connections with mobile devices could help stakeholders to work in any place. Old data stored in a database could be accessed and used as a knowledge database. Interoperability between the modules could guarantee the flexibility and reusability of the system core and stored knowledge data. A clustered server approach could be used to guarantee the continuous operation in case of technical outages.

The proposed DMS architecture is based on a database architecture in which the stored information is provided by the population, official entities and low cost hardware devices. For example, a person could use a Web-based portal to inform that a tree fell on a street. A police man could inform by his car terminal that a street is closed. A firefighter could use a mobile app to inform the necessity of volunteers to help in a forest fire occurrence. Sensors could identify that a river level is above normal and send an alert to the database. Then an engine can identify and filter information based on previously registered thresholds and generate and send events for the everyone that is interested.

The proposed DMS framework architecture can be divided in the following parts:

- *Main database*: stores details of all occurrences, as well as any relevant information related to them.
- *Auxiliary Database*: stores users, access rules, alert descriptions, alert thresholds, access levels, event types and event subscribers. This database also contains reports scripts.

- *Engine*: softer, multithread service, responsible to examine all occurrences based on their types, thresholds and origin, generating the related action items and sending them to the correct destination.
- *Administrative User Interface*: applies access rules and enables/disables users. Only a restricted group of people needs to have access to this.
- *User Interface*: Web portal, mobile app, desktop software, or dedicated hardware, among others. These will be the interface through which someone is able to register occurrences, or receives notifications.
- *SDK (Software Development Kit)*: Windows DLL or OCX or other computational component possessing a standardized set of rules and protocols that enables the development of computational systems that may access the system to communicate with it, providing or receiving information. This module is dedicated to developers that are responsible to develop and integrate systems. The SDK is also a way to improve the interoperability of the system.

Figure 1 shows the preliminary proposed DMS conceptual model. At first, probably, not all components will be implemented but the figure demonstrates the power of this architecture to integrate different stakeholders. The modular approach and the concern with interoperability between modules allows that new components could be included at any time. The engine could implement "use cases" that are related to inquiries from the different users or teams.

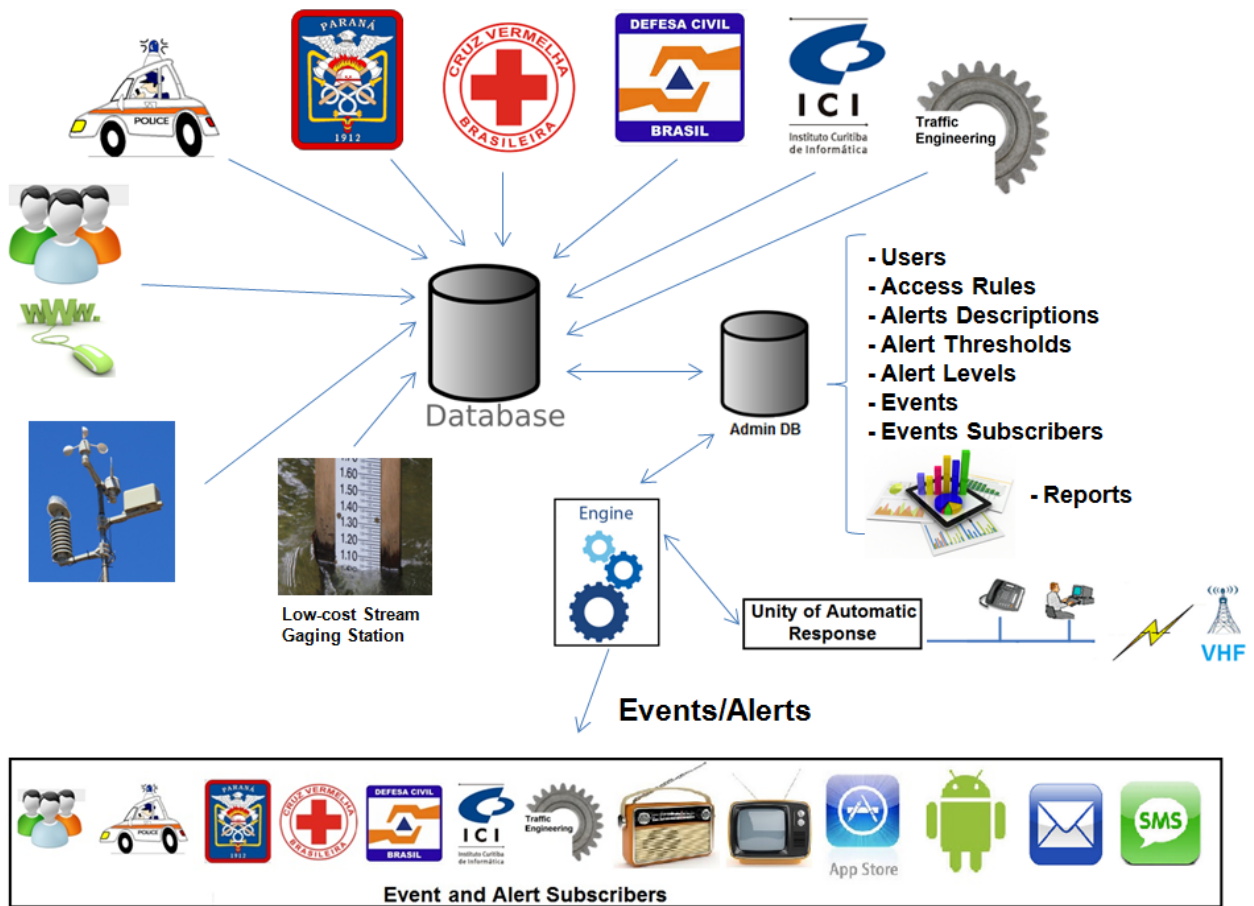


Figure 1: Proposed Disaster Management System conceptual model

The interoperability between the modules could be increased through a common ontology and taxonomy developed and based on works found in the literature, initiatives found around the world and data collected with specialists and possible stakeholders/final users.

5. Conclusion

This paper demonstrated that interoperability and rapid, safe and efficient communication between parties involved in a disaster is primordial to responding to it and managing it as effectively as possible. Features found in some initiatives implemented around the world related to disaster management and others related to the literature on disaster management and interoperability were considered. It has been seen that some of these features are essential for a disaster management system to be successful. A proposed framework based on the most common features encountered in the literature review and related works was presented and explained in order to support the DMS development. The resulting architecture may be used to both diagnose an existing disaster management system in order for its interoperability to be assessed as well as help design disaster management systems that are more interoperable and efficient.

Next steps in the project include extending the framework taking into account a systematic literature review regarding requirements for disaster management systems and the testing of this framework in a real situation, both for diagnosing a disaster management system in view of its redesign and designing one for a totally new context.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the support of the Instituto Curitiba de Informática to this work through the funding of research activities at the Pontifical Catholic University of Paraná related to the project titled “Urban mobility performance management”.

References

- [1] Scherner, T., & Fritsch, L. (2005). Notifying civilians in time - disaster warning systems based on a multilaterally secure, economic, and mobile infrastructure. In Association for Information Systems - 11th Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2005: A Conference on a Human Scale (Vol. 2, pp. 838–847).
- [2] Köhler, P., Müller, M., Sanders, M., & Wächter, J. (2006). Data management and GIS in the Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM): From integrated spatial data to the mapping of risk. *Natural Hazards and Earth System Science*, 6(4), 621–628.
- [3] Mukhopadhyay, B. & Bhattacharjee, B. (2015). Use of Information Technology in Emergency and Disaster Management. *American Journal of Environmental Protection*. Vol. 4, No. 2, 2015, pp. 101-104.
- [4] Meissner, A.; Luckenbach, T.; Risse, T.; Kirste, T. & Kirchner, H. (2002). Design Challenges for an Integrated Disaster Management Communication and Information System. DIREN 2002 - 1st IEEE Workshop on Disaster Recovery Networks. New York, 2002.
- [5] Barthe-Delanoë, A., Bénaben, F. Carbonnel, S. Pingaud, H. (2012). Event-Driven Agility of Crisis Management Collaborative Processes, Proceedings of the 9th International ISCRAM Conference – Vancouver, Canada, April 2012.
- [6] Bénaben, F.; Touzi, J.; Rajsiri, V.; Trupitil, S.; Lorré, J.P. & Pingaud, H. (2008). Mediation Information System Design in a Collaborative SOA Context through a MDD Approach. Proceedings of MDISIS 2008, 89-103.

- [7] Iannella, R.; Robinson, K. & Rinta-Koski, O. (2007). Towards a Framework for Crisis Information Management Systems (CIMS). 14th Annual Conference of the International Emergency Management Society (TIEMS). Trogir, Croatia, 2007.
- [8] Perry, R. W. (2003). Incident management systems in disaster management. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. Vol. 12, Iss 5, 2003, pp. 405 – 412.
- [9] European Commission (2010). European Interoperability Framework (EIF) for European public services. Brussels, Belgium.
- [10] Cestari, J. M., Loures, E. R., Santos, E. A. P. (2013). Interoperability Assessment Approaches for Enterprise and Public Administration. *OTM Industry Case Studies*. 1ed., SPRINGER Lecture Notes in Computer Science, v. 8186, p. 1-759.
- [11] Guédria, W. Golnam, A. Naudet, Y. Chen, D. & Wegmann, A. (2011). On the use of an interoperability framework in coopetition context. In the 21st Nordic Workshop on Interorganizational Research. Vaasa, Finland.
- [12] Guedria, W. Chen, D. & Naudet, Y. (2009). A Maturity Model for Enterprise Interoperability, in Proc. of the 4th IFAC/IFIP, OTM workshop, EI2N'09 (Enterprise Integration, Interoperability and Networking), Portugal, November 2009.
- [13] EIF. (2004). CompTIA: European Industry Association. European Interoperability Framework - ICT Industry Recommendations. (White paper). Retrieved from <http://www.comptia.org>.
- [14] Preda, P. F. (2015). Kick-off meeting of the DECIDE project. Retrieved from <<http://predaplus.eu/kick-off-meeting-of-the-decide-project/>>. Accessed on January 10, 2015.
- [15] Evans, G., Blythe, P., Panou, M., & Bekiaris, E. (2014). Evaluating transport technologies for mitigating the impact of emergency events: findings from the SAVE ME Project. *Transport*, 2(3).
- [16] Frémont, G., Grazzini, S., Sasse, A., & Beeharee, A. (2010). The SafeTRIP project: improving road safety for passenger vehicles using 2-way satellite communications. In *ITS World Congress Busan*.

APÊNDICE B – ARTIGO ISPE (VERSÃO EXTENDIDA)

Journal of Industrial Information Integration

A framework for interoperability assessment in crisis management

Daniel da Silva Avanzi ^{a,b}, Anderson Foggiatto ^a, Vanessa Aline dos Santos ^a,
Fernando Deschamps ^a and Eduardo de Freitas Rocha Loures ^a

^a *Industrial and Systems Engineering Graduate Program, Pontifical Catholic University of Parana, Curitiba, Brazil*

^b *Instituto das Cidades Inteligentes, Curitiba, Brazil*

Abstract

It is noticeable the growing of the various types of concerns in large centers, whether by citizens or public officials. In that sense, an important dimension is the crises management such as in cases of natural disasters. This scenario calls for a task force in an attempt to predict or solve emergencies, especially in managing and integrating public and private spheres, which in turn are centered on public authorities, service providers, citizens, volunteers and systems. In order to allow the exchange of information and joint actions of those involved entities, the fulfillment of interoperability requirements become a critical factor promoting improved performance of the actions taken in situations of crisis. Based on the literature and related worldwide initiatives, the main concerns and attributes of crisis management are identified from the perspective of interoperability. Founded on this knowledge a framework that supports a Disaster Response Management System (DRMS) development cycle is proposed. In this paper, a focus is done on a diagnostic step based on a Multi-criteria decision analysis (MCDA) in order to assess potential interoperability of a public entity or locality. The proposed MCDA method facilitates the specification of integrated solutions for the public sector to meet interoperability requirements in disaster management (DM) scenarios. In this paper the assessment method was based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) whose one instance was applied to a company involved in DM domain, responsible for municipal technology sector. The findings show the main gaps of the entity under the interoperability perspective, allowing the identification of key areas for improvement of its DM capabilities.

Keywords: Disaster management system; interoperability assessment; disaster response; multi-criteria decision analysis.

1. Introduction

Regardless of its nature, a crisis is considered an abnormal situation, usually resulting from an instability that impacts a part of society with unacceptable consequences. A crisis situation can emerge in different contexts - political, military, economic, humanitarian, social, technological, environmental or healthcare. Lately, it is noticeable that authorities are increasingly seeking solutions to improve the management of crises. Part of this growth is due to increased citizen participation. Through the ubiquitous use of technology, people are both more collaborative in crisis moments and demanding more transparency by closely monitoring measures taken by the responsables [1].

In this sense, crisis management is becoming more and more relevant. Managing a crisis involves the participation of various entities working together in an action cycle based on four main phases: mitigation, preparedness, response and recovery [2]. The response phase is both relevant for meeting performance requirements and critical for the support that may be provided to any impacted group of individuals. Efficiency in managing a crisis is measured by the speed and precision with which information is managed and exchanged among partners (i.e., organizations, people, and devices involved in the collaboration). Thus, successful crisis management requires full integration of all of the involved, particularly in response actions [1].

It is possible to analyze a the management of a crisis considering the viewpoints of two important entities directly involved in this kind of unexpected situation - firefighters and police officers. For instance, in the case of notification of a large crash on a highway, information usually arrives simultaneously at more than one police or fire departments without proper control and information sharing. This results in more than one rescue team being sent to the scene and impairs mobility due to the concentration of rescue vehicles. This highlights the importance of information exchange and integration of different services involved in providing response to an incident and shows the relevant role interoperability among these entities plays in these situations.

Interoperability can be defined as a broad concept encompassing the ability of entities (e.g., organizations or systems) to work together in pursuit of common, mutually beneficial goals. Thus, if two or more entities do not have the ability to collaborate, exchange information and coordinate actions, they cannot be considered interoperable [3]. For entities to become interoperable, they must meet certain common goals and requirements, which in turn must be set according to their application domain. To identify their capabilities to interoperate, entities should be subject to an assessment, which allows stressing out how a particular entity is interoperable in its application domain. This is particularly true if the application domain is crisis management.

This paper presents a Disaster Response Management System (DRMS) development cycle framework with a focus on a diagnosis step devoted to potential interoperability assessment of a public/private entity or locality. The proposed approach uses a multi-criteria decision analysis structure based on AHP (Analytic Hierarchy Process) and helps organizations perceive their strengths and weaknesses, devising actions closely related to their ICT capabilities to increase performance and maturity. The diagnosis results support the specification of a DRMS that fulfills interoperability requirements coherent to entity capabilities in disaster management.

The paper is structured as follows. Section 2 presents the main worldwide initiatives, as well as the literature review to investigate performance perspectives and the effectiveness of the actions taken in disaster management together with the principles of interoperability. Section 3 describes the interoperability assessment model for crisis management considering all the artifacts used in its development. In section 4 the assessment model is applied to a real case, allowing the evaluation of a given entity and its environment regarding its interoperability capabilities. The company responsible for Curitiba (southern capital of Brazil) municipal technology sector was chosen as an application case. Finally, in the conclusion section, the main outcomes, lessons learned and research perspectives are presented.

2. Scientific scenario and related works

2.1. Disaster Management

There are three main aspects to be considered in managing disasters - protection of life, property and the environment. Disasters are usually classified into natural or man-caused. The former are in relation to events such as earthquakes, floods, storms, hurricanes, tornadoes, cyclones and forest fires. The latter covers events such as the collapse of buildings or accidents involving airplane. Regardless of the type of disaster, achieving an effective and coordinated action is a difficult task for first responders [4].

The different rescue organizations such as the police, the fire department, health services, civil defense and others must be efficient when working in a collaborative way, considering the inter and intra organizational aspects, in addition to the different hierarchical levels of each involved team [5]. Thus the exchange of information becomes an essential prerequisite for dealing with the different types of disasters in a fast and coordinated manner. Proper management and integration of participants is required in enabling the exchange of information targeted at prevention or mitigation of crisis situations [1]. Thus the whole operation requires that information is kept as up to date as possible, requiring real-time communication between participants.

This real-time exchange drives the need to integrate characterized information and communication technology systems (ICT) in delivering disaster management, to provide for efficient and safe exchange and processing [5]. Most collaboration and communication issues in companies are supported by Information System (IS) without capabilities to face process coordination and information flows among heterogeneous entities and systems. The implementation of a Mediation Information System (MIS) supported by Service Oriented Architecture (SOA), represents an interesting solution allowing an evolutionary monitoring of the crisis scenario and the management of information among entities involved [6].

Thus, in the field of emergency and disaster, Crisis Information Management Systems (CIMS) or Disaster Management Interoperability Systems (DMIS) have been part of the prevailing concept in use in real cases as proposed in [7, 8]. Their main objective is to provide a complete set of ICT functions to address many needs of the players in crisis management. CIMS has been highlighted as a preferred system by entities to meet the main needs of crises situations, in particular, the exchange of information, enabling efficient joint and coordinated actions by those involved [7]. Some actions performed by these types of systems [9]: ongoing assessment throughout the crisis period; start, maintain and control communications; identify the incident management strategy; decision-making based on resources available; request additional resources; develop an organizational command structure; continually review action plans; provide call continuation, transfer and termination.

Therefore it is noticeable that efficient crisis management occurs when the information is exchanged and updated in real time among the organizations involved. Communication is the common basis for execution of emergency response and is best approached from a systems perspective considering all the directional flows of information, instructions, and announcements [10]. These requirements suggest the use of technology tools to control and manage data according to each occurrence [5]. Most often the speed and accuracy with which information can be managed and exchanged between the partners (organizations, people, and devices involved in cooperation) contribute to the response efficiency levels achieved [1].

But this is not the only important part in allowing the operation of entities. Organizations must adopt norms and standards established for their domains, contributing to the interoperation of activities. Given syntactic and semantic requirements, alignment of business aspects of the organization, such as processes and business, with the standard established is essential. The rules for the sector already address cultural and legislative aspects, different practices and a number of other factors that may contribute to loss of organizational interoperation [11]. It has become possible to notice that the previous generation of systems did not have this foundation of

standards to rely upon. Every time a new system was built, a new communication and networking scheme had to be built. In many cases, interoperability was not taken into account in the design of these systems [10].

With the need for better integration and management, organizations have also become concerned about the quality of their participation in the domain of action. Entities are seeking to evaluate their interoperation capability, aiming to improve the organization's performance and also contributing to a more efficient environment [12]. The assessment of a company's interoperability is crucial in identifying its weaknesses. In terms of activities relative to crisis management, every improvement can be even more important, since this domain is directly linked to emergencies involving risk for citizens. Once the weaknesses have been identified, these activities can be improved and risks reduced, contributing to the efficiency of the process. Evaluations can be performed in comparison with other entities (a posteriori) or with a generic domain (a priori) [14].

Among the phases of crisis management, the response step is the most important because this phase does not allow errors, requiring coordinated and efficient actions, which is even more difficult with the participation of multiple entities. The interoperability aspects and their assessments contribute to the success of these activities [12].

2.2. Interoperability

Interoperability is considered progressive when organizations start to communicate and share information, and together create performance conditions that would be hard to achieve individually [15]. Going beyond people, machines and systems, interoperability is becoming a key success factor in all areas. The concept of interoperable systems therefore requires considerable attention to ongoing assessment and improvement [11]. A broad concept, encompassing the ability of organizations to work together in pursuit of common and mutually beneficial goals, is representative of one of the definitions of interoperability [13]. This ability to interoperate can be affected by conceptual, technological and organizational barriers, which are classified [14]: Conceptual concerning different ways to represent and communicate concepts; Technological in connection with data and systems incompatibility; Organizational as regards different methods of work.

Enterprise Interoperability Assessment (EIA) allows the measurement of the degree of interoperation between entities, which in turn helps in specifying integrated solutions for the domain as well as the adjustment and adaptation to improve the activities of those involved [11]. This type of evaluation identifies strengths and weaknesses imposed by interoperability barriers, enabling the prioritization of actions in order to enhance interoperability performance and maturity.

Literature presents several assessment methods and models [16]. Evaluations can be based on Interoperability Maturity Models (IMMs) in order to infer the potential interoperation degree [17]. Assessment approaches should be deployed according to the domain to be assessed and may require a brief survey to identify the attributes and criteria that best characterize the domain from an interoperability perspective [18]. In the context of this paper, the assessment approach relies on the application of interoperability concepts in order to evaluate the entity's level of coverage in the crisis management domain, thereby allowing identifying possible adjustments in improving disaster response performance.

The need to interoperate in crisis management activities determines how operations and services are provided. Responsibilities involved in this scenario can be divided into state, national or even international spheres, represented by different teams from different public or private entities such as civil defense, firefighters, police, etc. According to [12], entities involved mainly in crisis management should work through a life cycle consisting of phases (actions): prevention (Prev), preparation (Prep), response (Resp) and recovery (Recv). The authors seek to identify relationships in each stage of the crisis process, promoting improvement of inefficient points and enhanced performance of Disaster Management Organizations (DMOs).

In [19] the authors advocate that the analysis and search for interoperability requirements focuses on integrating lifecycle approaches applying the Enterprise Architecture approach (EA). A GERA modeling framework section is related to a lifecycle-based formalism, mapping each phase (identification, concept, requirements, design, implementation, operation, decommission) into disaster management task force (DMTF) actions (Prev, Prep, Resp, Recv) [12]. Disaster management project lifecycles are then linked to Chen's Enterprise Interoperability Framework (EIF) [20] in order to highlight the degrees of importance of the EIF quadrants in DMTF actions. This approach is closely related to our proposal, differing in the fact that each interoperability concern and barrier in EIF should be equally addressed in order to assess entity and system interoperability capabilities.

The advent of the Internet-of-Things (IoT) is bringing increasing complexity and diversification in information systems, making interoperability a key requirement for their scalability and sustainable development. In the crisis management context [21] the situation is different because, most of the times, the process involves a very heterogeneous group of entities that must work together in providing services and responses. In this case, ontology is used to identify and relate the different types of agreements between organizations, thus helping to create a unique environment that can communicate using the same patterns, leading to the concept of Interoperability-of-Everything (IOE) in order to overcome semantic interoperability barriers.

2.3. Worldwide Initiatives

A survey of the initiatives within the crisis management domain collaborates with the identification of best practices and technical requirements capable of supporting the development cycle of Disaster Response Management System (DRMS). These systems are characterized as DMSs (Disaster Management Systems) and are mainly focused on the response to a particular occurrence. Some successful worldwide initiatives are presented next. They collaborated with the identification of relevant attributes with respect to disaster management scenario assessments, as well as in supporting a relational study between these attributes and ICT interoperability requirements.

SAFETRIP [22] - Satellite application for emergency handling, traffic alerts, road safety and incident prevention (France)

A noticeable increase can be perceived in driver assistance systems research and development. These systems are based on automated technologies and sensors capable of detecting the traffic situations around the vehicle and either warning the driver or automatically performing some mechanical action. In addition to vehicles, roads have also received significant improvements. Intelligent communications systems that interact with many devices and vehicles are being deployed with good results [22]. Along this line, SAFETRIP is one of these intelligent systems designed to improve the use of the road transport infrastructure generating alerts with many degrees of importance: informative, preventive, promoting actions, etc. This system helps to reduce the number of accidents and deaths as it increases stakeholder mobility and information distribution. Vehicles can be interconnected via different media (called ICT) such as telephone channels, satellite and Wi-Fi, radio, etc. In order to enhance information exchange capabilities, new satellite technologies are being implemented to improve the communication in extreme environments and other problem situations [22].

DECIDE [23] - Decision Support System for Disaster Emergency Management (Greece)

This project aims to provide assistance during emergencies resulting from natural causes or by human action, targeting improving the capability of resources involved, as well as preventing future events. The development

was motivated by the high complexity of the actions required in disaster situations. Quick responses and development of prevention plans are difficult due to this complexity. In minimizing these difficulties, DECIDE proposes an Intelligent Decision Support System (IDSS) to promote higher efficiency and enhance management capability of local stakeholders and entities responsible for effective response to all types of disasters. The system proposes some goals, encouraging the use of innovative solutions and technology bases in increasing the capability of local authorities in delivering effective and efficient coordination of prevention and response procedures. These procedures should address risks and enhance the capability of society and volunteers to support local disaster control, thus avoiding further losses. The main way of achieving these goals is through an IDSS with the main features shown below:

- allocation of civil protection units;
- routing and guidance in emergency situations;
- network and risk mapping based on geographic information system (GIS);
- viewer roles and responsibilities;
- alerts and warnings;
- management scenarios and users;
- multiple end user interface support (web, phone etc.).

SAVE ME [24] - System and Actions for Vehicles and transportation hubs to support Disaster Mitigation and Evacuation (United Kingdom)

In recent years, large numbers of people have died due to natural disasters, fires in tunnels and public transport terminals. In addition, governments still have face the difficult task of dealing with the threat of terrorist attacks. Man made or natural disasters always require fast and coordinated response often resulting in mass evacuation scenarios. Project SAVE ME aims to prevent these disasters by developing systems that detect both types of events. The system must support mass evacuation procedures in a very short time protecting the lives of all stakeholders. The system also provides features to handle all kinds of people, including people with disabilities [24]. To achieve its objectives, the project presents an ontological framework capable of recognizing the different types of threats, classifying them and proposing possible solutions for their reduction. The approach is based on a complex and innovative human behavior based algorithm (under stress, panic and strong emotions, etc.). These behaviors can be indicative of abnormal conditions and serve as alert triggers to be sent to the respective persons/entities responsible.

e-PING [25] - Electronic Government Interoperability Standards (Brazil)

e-Ping defines a minimum set of assumptions, policies and technical specifications that drive the use of Information and Communication Technologies (ICT) in the Brazilian federal government, establishing the integration terms with other branches and levels of government as well as society at large. Brazilian entities must be e-Ping compliant in system planning, acquisition of new equipment, implementation of IT services, during system developments or upgrades. Some entities are voluntarily adopting e-Ping through direct changes in their management or by contracting service companies already compliant to the new standards and this way increasing interoperability and security in their communication transactions [26].

In disaster scenarios, the adoption of open e-government [27] standards for all stakeholders involved will help in ensuring information and communication security, given this is one of the underpinning assumptions of e-Ping. Literature reviews corroborate the fact that adopting common standards during the development and implementation of new Disaster Management Systems was a common requirement of many systems currently in operation. Therefore, adopting e-Ping implies in increasing interoperability among entities involved, as well as facilitating the inclusion of new partners and technologies in the future.

IsyCri [28] - Systems Interoperability In Crisis situation (France)

The IsyCri project began in 2007 and ended in 2010 and defined a MIS (Mediation Information System) devoted to connecting (at cell level) players responsible for the reduction of crisis situations and ensuring their interoperability, supervising their collaborative workflows. The general principle of IsyCri relies on the belief that integration between the parties is a crucial step towards the successful reduction of a crisis. Therefore, interoperability is IsyCri's central concern, ensuring integration and communication among partners, as well as defining collaborative maturity levels.

In a crisis context (natural disasters, accidents, conflicts, industrial accidents, etc.) different participants (medical units, police, etc.) have to work simultaneously and very quickly. Cooperation among them and the ability to coordinate their actions is essential in achieving a common goal – reduction of the crisis situation. In this sense, the main point of the ISyCri project was to provide partner organizations, involved in managing the crisis through MIS, capabilities to merge their heterogeneous and autonomous Information Systems (IS) into a global System (SoS - System of Systems). The following tasks were defined for its implementation:

- ontology construct of the system studied including, e.g. people, local nature, goods, and characterization of the crisis by identifying its elements such as type, severity, trigger, etc.;
- logical modeling of MIS (Mediation Information System);
- technical architecture modeling and projection of logical view of the technological vision;
- study of dynamics;
- experimenting acting as a generic part of the project, based on specific use cases in order to verify the described principles.

3. DRMS development cycle framework

The proposed DRMS development cycle framework shown in Fig. 1 aims to provide organizations with the opportunity to discover and evaluate their strengths and weaknesses, facilitating the prioritization of actions to improve their performance and maturity in disaster management. The idea of the proposal is to use the concepts found along with the aspects that directly reflect domain interoperability issues to achieve disaster management (DM) objectives.

The proposed framework is centered on a Disaster Interoperability Assessment Model (DIAM), which aims to evaluate a reference DRMS architecture according to potential interoperability aspects of companies. Therefore, the diagnosis promoted by DIAM allows a granular assessment of capabilities in public or private entities involved in DM. This capability analysis enables the execution of a deeper relational review of the functional and technical requirements of the reference architecture with DM attributes. The main phases, steps and components of the development cycle framework are shown in Fig. 1.

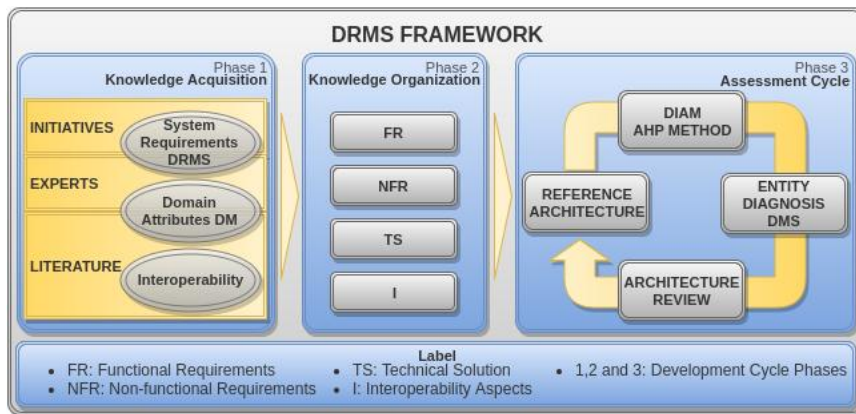


Fig. 1. DRMS development cycle framework

In Phase 1 (Knowledge Acquisition), DRMS involves knowledge that can be obtained from different sources, such as successful initiatives, literature reviews and consultations with experts. The resulting knowledge base is divided into three aspects: (i) a large set of information that can be understood as DM attributes, consensus of disaster management specialist; (ii) system requirements benchmarked against existing DMS initiatives; (iii) interoperability aspects (concerns and barriers) identified from the main EIFs, aiming to organize DM knowledge and fulfilling assessment requirements imposed by DIAM.

The data set (DM attributes) consists primarily of needs found within the crisis management domain, such as connectivity, safety, flexibility, among others. Characteristics that enable identification of the necessary means to ensure that the needs are supported can also be identified, such as bandwidth, proxy settings and tools for system adaptation (system requirements). Use cases should also be included in system analyses and usually presented directly by stakeholders involved. All of these DM attributes must meet interoperability requirements (I), after undergoing a refining process.

After carrying out the research and consulting specialists (Phase 1), numerous DM system requirements and attributes will be listed and organized in Phase 2 (Knowledge Organization), as shown in Fig. 1. The list will be classified by characteristics, allowing for a better structure, understanding and use of the knowledge. Thus, DM attributes and DMS requirements are separated by their characteristics based on software and system engineering guidelines. With respect to the interoperability aspects of these attributes, based on Chen's EIF framework, are then correlated and organized pursuant to business, process, service and data concerns.

Thus, phase 2 aims to separate the knowledge generated into four data sets (perspectives), facilitating the identification and use of the information obtained. First, as illustrated in Fig. 2, the characteristics will be classified into three perspectives: Functional requirements (FR), non-functional requirements (NFR) and technical solution (TS). The fourth, and last perspective, is the interoperability knowledge (I), which later serves to submit the related DM attributes identified to interoperability assessment.

ID	Knowledge	FR	NFR	TS
16	outside consulting	x		
17	false phone calls	x		
18	robust system		x	
19	user hierarchy			x
20	access levels	x		
21	reliability		x	

Fig. 2. Knowledge organization excerpt

The first three perspectives (FR, NFR, TS) must be properly sorted according to their degree of importance, as some may be irrelevant regionally and others may be necessary in a first implementation. For example, ice detection device for the road does not make sense in a desert or tropical region where temperature never falls below 26 degrees Celsius. In order to find out which requirements/attributes should be implemented or discarded by undertaking a relational review and analysis, the QFD (Quality Function Deployment) method is used [29, 30]. Each QFD is represented by a matrix in which the characteristics are expressed in text and their relationships are represented numerically. For our proposal needs, this relational approach is shown to be appropriate in the way qualitative data is transformed into quantitative values or into design requirements that could be used by the engineering team.

The central objective of a QFD is to separate the DM requirements and attributes into groups, translating text expressions into quantitative values that will be applied to help engineers decide what should be implemented, or not. The QFD stages involved aim to help in choosing the more relevant requirements for the development of the proposed DRMS through its life cycle towards the review of the technical reference architecture (Phase 3 – Assessment Cycle, Fig. 1). These QFD stages are presented in more details next.

3.1. Knowledge organization and relational modeling process

Since the goal of this project is to propose a framework capable of assessing the interoperability potential of a public entity or locality, in order to support a reference architecture specification, the relational modeling process is illustrated in Fig. 3. The diagram is based on relational structures (QFD1, QFD2 and IRM) and characterizes two different development routing: (i) requirement identification, analysis and technical solution mapping acting as input for SysML specification and analysis of the reference architecture; (ii) requirement identification, analysis and DM attributes mapping across interoperability perspectives in order to support the DIAM - AHP based method construction and execution.

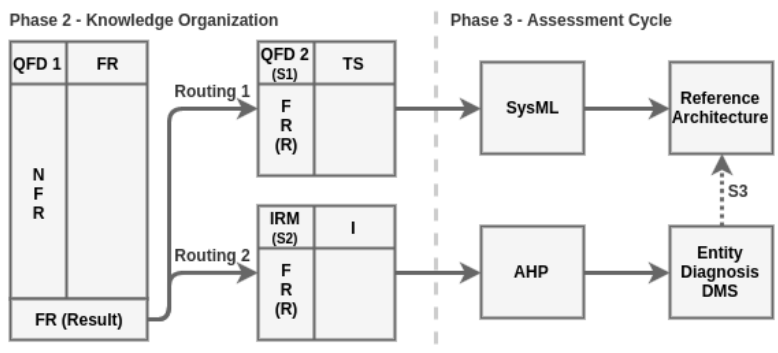


Fig. 3. Relational modeling process

Considering Fig. 3, two QFD design steps are provided in order to share and handle the same initial DM attributes and system requirements from phase 1 (Fig. 1). The first design step translates this data set into Functional Requirements (FR) and Non-Functional Requirements (NFR). Therefore, QFD1 aims to model and relate NFRs that will describe how the system works (capability, availability, accessibility, portability, maintenance, etc.) to the FRs that will describe what the system should do (business rules, administrative functions, authentication rules, external interfaces, GUI features, etc.). QFD1 construction is based on identifying the degree of correlation between FRs and NFRs, classifying them as weak (1), medium (3) or strong (9). A QFD1 statement is represented in Fig. 4.

Other data items that must be entered by experts are the importance of each perspective under evaluation. Thus, it is possible to infer that the FRs are validated and filtered according to the NFRs ($NFR \times FR = 1, 3 \text{ or } 9$) and level of DM importance input by experts (Fig. 4, A). The end result (Fig. 4, B) is the relative weighing of each FR (already in combination with NFR), where a cutoff value is applied leading to a new set of FRs, called from now 'FR-Result'. In this framework, the defined cutoff value is the average, considering only those values that are equal to or larger than the average (Fig. 4, C). The resulting new FRs (FR-Result) ensures that only the most important requirements for DM domain are sent to the next stage.

Number	Functional Requirements		Importance	A													
	Non-functional Requirements			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	user performance metrics		5	1	9	1	9	9	9	9	9	3	3	3	1		
2	traffic control information		4	3	9	3	1	9	9	3	3	9	9	1	1		
3	system requirements definitions		6	9	1	3	9	9	9	9	1	9	9	1	3		
4	system performance metrics		5	3	9	1	9	9	9	9	3	9	3	3	1		
5	special queries		4	1	1	1	9	3	9	9	9	9	1	3	1		
6	sharing data		7	1	9	3	9	9	3	9	9	9	9	9	9		
7	robust system		5	3	1	1	9	9	9	9	3	9	3	1	3		
8	reliability		10	1	1	1	1	3	3	1	1	3	3	1	1		
B				weight importance	146	214	80	334	330	312	334	226	324	232	130	124	
B				relative weight	100	5,24	7,68	2,87	12	11,8	11,2	12	8,11	11,6	8,33	4,67	4,45
C				average	232	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	

Fig. 4. QFD1 excerpt: Functional x Non-Functional Requirements

The analysis and results of QFD1 (most important requirements) will then support a second QFD design stage (QFD2) in order to represent the relationship between functional requirements (FR) of higher importance and possible technical solutions (TS). These are some technical solutions: use of clustered solutions, MySQL database, C# implementation, etc. The result of this second QFD step analysis will, in its turn, support the SysML diagram modeling relative to a Reference Architecture specification review. Furthermore, QFD1 will also be used as a basis for building a relational structure to analyze the interoperability layer (IRM Interoperability relational matrix), providing support in designing AHP DIAM structure.

3.2. Three-dimensional relational model

The scheme presented in Fig. 5 illustrates, through a three-dimensional model (cube), the relationship among the perspectives mentioned (FR, TS and I). The use of the cube representation facilitates interpretation of the interrelated modeling process described previously as well as the DRMS framework dimensions (Fig. 1). The relational analysis that emerges from each perspective (cube surface) is carried out by the QFD and IRM structures presented in section 3.1.

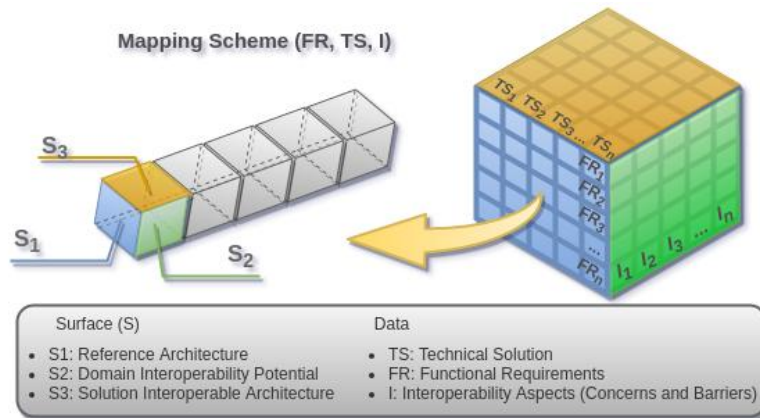


Fig. 5. Mapping through the cube components

The S1 cube surface, relates to QFD2 in order to identify how DM needs are covered by technical requirements. This matrix allows calculating how technical solutions (TS) requirements should be improved to address functional requirements (FR-Result). These importance levels can be applied by specialists through brainstorming processes, use of cases study, the DEMATEL method [31], etc. Fig. 6 illustrates the cross-matching of data undertaken by QFD2, showing the degree of importance of each functional requirements (FR-Result) for the technical solution (TS).

Number		Importance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			wireless communication	user hierarchy	use case based modeling	uniform emergency signals	unified file format and conversion and UML	systemized repository data	system constraints maps	SYSML	standard data specification	specialists encrypted messages	secure shell	report templates
1	user support	5	3	3	1	3	1	1	1	1	3	3	3	9
2	unregistered users receive only broadcasts	4	9	1	3	9	3	9	9	3	3	9	1	1
3	tracking responsible for data	6	9	1	9	3	1	9	3	1	9	9	1	3
4	structured query implementation	3	1	3	1	1	3	1	1	3	9	3	3	1
5	single set of rules	6	1	1	9	1	9	3	1	9	9	1	3	1
6	run on different types of crisis	10	9	3	3	3	3	3	9	1	1	9	9	9
7	report supply points	5	3	1	1	3	1	2	1	3	1	3	1	3
8	reduce the number of vehicles	9	3	1	1	9	1	3	3	1	3	3	1	1
weight importance			246	84	172	204	130	183	190	120	204	252	156	190
relative weight			100	11,5	3,94	8,07	9,57	6,1	8,59	8,92	5,63	9,57	11,8	7,32

Fig. 6. QF2 excerpt: FR-Result x TS (S1)

In relation to the S2 cube surface, the next step consists in an analysis of the interaction between FR-Result and interoperability (I) concerns by means of IRM (Interoperability Relational Matrix). The aim of this relational

analysis, inspired on QFD and Axiomatic Design [32] methods, is to bring to the interoperability perspectives (I) the assessment of achievement of disaster management attributes (FR-Result). The concerns and barriers concepts were applied following Chen's EIF, in which the FR-Result is organized within the aspects of interoperability [18]. A similar approach is proposed in [33] concerning electronic government (e-government) attributes and interoperability perspectives. In order to facilitate a qualitative reasoning, IRM is based on the use of symbols as shown in Fig. 7 (FR-Result x Interoperability Concerns) and Fig. 8 (FR-Result x Interoperability Barriers).

Functional Requirements Result	Interoperability Concerns				
	importance	business	process	service	data
user reports	5	◇	◇	●	●
unregistered users receive only b	4	▲	▲	●	●
tracking responsible for data	6	▲	●	▲	◇
structured query implementation	5	◇	●	▲	▲
single set of rules	4	▲	●	◇	●

● = 9
▲ = 3
◇ = 1

Fig. 7. IRM: FR-Result x Concerns

Functional Requirements Result	Interoperability Barriers			
	importance	conceptual	technological	organizational
user reports	5	◇	▲	◇
unregistered users receive only b	4	◇	▲	◇
tracking responsible for data	6	◇	▲	▲
structured query implementation	5	◇	●	●
single set of rules	4	▲	◇	◇

● = 4
▲ = 2
◇ = 1

Fig. 8. IRM: FR-Result x Barriers

Weights are assigned to each of the comparisons with values of 1, 2 and 4 for the barriers, and 9, 3 and 1 for concerns in order to position the FR-Result from QFD1 in more related interoperability barriers/concerns (Chen's EIF quadrants). After defining these perspectives, a new combined view is obtained in Fig. 9. Only the FR-Result with strong correlation to the disaster management domain will be retained.

		B			
		4	2	1	
C	W	9	36	18	▲
	3	▲	12	▲	6
	1	◇	4	◇	2

B: Barriers
C: Concerns
W: Weight

Fig. 9. IRM: Product of concerns and barriers

Stemming from this reasoning, Fig. 10 shows an example of the IRM analysis of the interaction between FR-Result and interoperability (I) concerns and barriers. Based on the aspects of this research, for diagnosing purposes, it was defined that only the cells with strong relations would have their NF-Result evaluated in the diagnosis phase. This way a certain importance for the disaster area can be assigned to the identified NF-Result, filtering out the ones with low relevance.

row	max relationship value in row	relative weight	weight / importance	CONCERNS x BARRIERS		FR Result		adaptable financial realities	low maintenance cost	low cost software	hardware low cost	low database storage cost	low implementation cost	low training cost	low cost of integration	reduce the number of vehicle	report alternate routes	report alternative transport	warnings for hazardous areas	report checkpoints	report supply points	priority information
1	9	8,3	1,0	Business	Conceptual	◆	▲	▲	▲	▲	▲	●	▲	●	●	◆	◆	◆	◆	◆	◆	●
2	9	8,3	1,0		Technological	◆	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◆	◆	◆	◆	◆	◆	●
3	9	8,3	1,0		Organizational	◆	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◆	◆	◆	◆	◆	●
4	9	8,3	1,0	Process	Conceptual	▲	◆	◆	◆	▲	●	◆	▲	●	●	◆	▲	◆	◆	◆	●	▲
5	9	8,3	1,0		Technological	▲	▲	▲	▲	●	●	▲	▲	▲	◆	▲	◆	◆	◆	◆	●	▲
6	9	8,3	1,0		Organizational	◆	▲	▲	▲	●	●	▲	▲	▲	●	▲	●	▲	◆	◆	▲	▲
Target or limit value																						
Weight / Importance								0	299	374	299	448	672	299	598	75	149	75	0	0	224	598
Relative weight								0,0	2,5	3,1	2,5	3,7	5,6	2,5	4,9	0,6	1,2	0,6	0,0	0,0	1,9	4,9

Fig. 10. IRM Matrix excerpt (S2)

This IRM structure acts as a basis for the AHP structure design of the DIAM proposed shown in Fig. 11. The first layer corresponds to the goal of the interoperability assessment (diagnosis of potential interoperability levels for DM entities). The second and third layers represent the Interoperability Perspectives (I- concerns and barriers) related to DM functional requirements (FR-Result) (fourth layer). The fifth and final layer represents the potential interoperability levels.

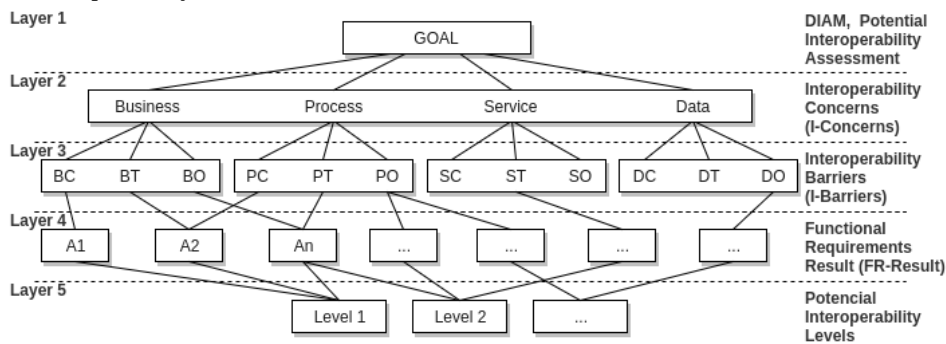


Fig. 11. DIAM AHP Method

A diagnosis of the private or public entity capabilities, for each DM FR-Result under I perspectives, applying the DIAM AHP-based relative reasoning, is carried out. As a result, the potential interoperability of the entity is assessed in order to infer its capabilities in disaster response management and support the reference DRMS architecture review (coherent with its capabilities). In section 4, this model is applied in a real interoperability assessment application case.

Finally, the S3 cube surface shows a diagnostic perspective of the technical solution (TS) with aspects of interoperability (I). This analysis step, following the same relational analysis as applied in surface S2, will contribute to the review of the reference architecture specifications, in order to meet system interoperability requirements. This analysis does not belong to the scope of this work.

4. Application case

The application case aims to apply the DIAM in diagnosing interoperability capabilities of a given entity for the criteria related to disaster management. The result can contribute to identifying its strengths and weaknesses, directing decision-making actions that will improve the organization's performance in disaster management by adopting a DRMS architecture. The evaluation was performed with the Super Decision tool that supports the use of AHP.

4.1. Entity characterization

The company responsible for the municipal technology sector of Curitiba was chosen for the execution of the assessment model. This choice is based on the fact that information technology control and municipal communication have a direct link to this entity. The city of Curitiba leads the ranking of the most digitized municipalities, according to the Digital Cities Brazil Index (DCBI) undertaken by the national Center for Research and Development in Telecommunications (CPqD), covering 100 Brazilian cities. The company selected is responsible for defining and identifying the needs of the municipality in ICT, delivering and supporting for all of the city administration departments.

For the assessment, company's experts were selected based on their operational and technical background as well as skills in crisis management. The interviews were conducted in pairs, and the answers were collected considering a consensus achieved through geometric means pursuant to AHP requirements. The entire data collection was carried out using the Super Decisions software. Once the collected, the diagnosis data were inserted in the tool, a complete analysis was then carried out applying the criteria and levels defined by the DIAM AHP structure (Fig. 11).

The assessment is based on pairwise comparison between nodes. An example of this type of comparison can be seen in Fig. 12, which compares the overall interoperability aspects in the crisis management domain (Layer 1, Fig. 11).

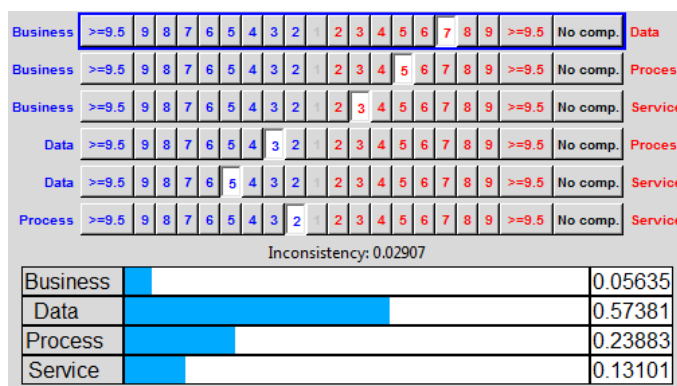


Fig. 12. Layer 1, AHP structure I-concerns cluster pairwise comparisons

The assessment profile indicates a relative relevance for interoperability data and process concerns relative to disaster management. This is due the fact that the capability to extract and exchange data from heterogeneous sources is very important in being aware of the conditions on the ground and avoiding potentially life-threatening situations for all involved.

4.2. Results and analysis

Following the DIAM method, similar pairwise assessments are carried out in each level of the AHP structure (Fig. 11) resulting in partial rankings (eigen/priority vector) that highlight focal diagnosis (degree of importance) relative to entity capabilities. Fig. 12 shows the degree of importance attributed to Data and Process concerns from the resulting priority vector (Data: 0.57381; Process: 0.23883; Service: 0.13101; Business: 0.05634).

The same reasoning is deployed through the AHP levels and criteria resulting in the values indicated in Table 1. The structure of the table follows Chen's EIF, closely related to AHP structures, thereby facilitating visualization of the overall priorities and entity capabilities. Each quadrant corresponds to an AHP cluster and its priority vector in FR-Result DM requirements (green bar graph). I-concerns (Layer 1) are indicated by the blue bar graph and I-concerns/barriers (Layer 2) are indicated by the orange bar graph).

The final cluster named 'Alternatives', relative to the last AHP level, corresponds to the maturity level of entity assessed. The final result can be seen in Fig. 13's radial chart. The positioning of the organization in the intermediary position (0.418295) slightly trending towards advanced (0.309910) can be identified. This result leads us to infer that the company still has several aspects to improve in increasing efficiency in the scenario discussed. Table 1 provides a relevant support for this analysis and diagnosis, providing a complete view on the entity's interoperability capabilities.

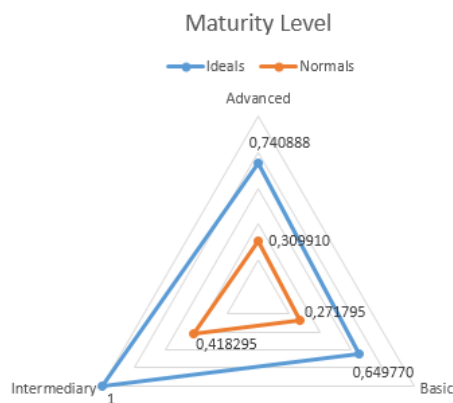


Fig. 13. DIAM Maturity level diagnosis

Additionally, sensitivity analyses enable indicating the most adequate criteria for organizational improvement of its disaster management capabilities. For analysis purposes, in Fig. 14 it is possible to identify how FR-Result 'Report Supply Points' can influence in changing the final maturity levels. In this figure, it is possible to see that increasing priority levels of this NF-Result leads to a preferred maturity level change towards Level 3 (Advanced). This analysis acts as an important tool in driving corporate engineering efforts.

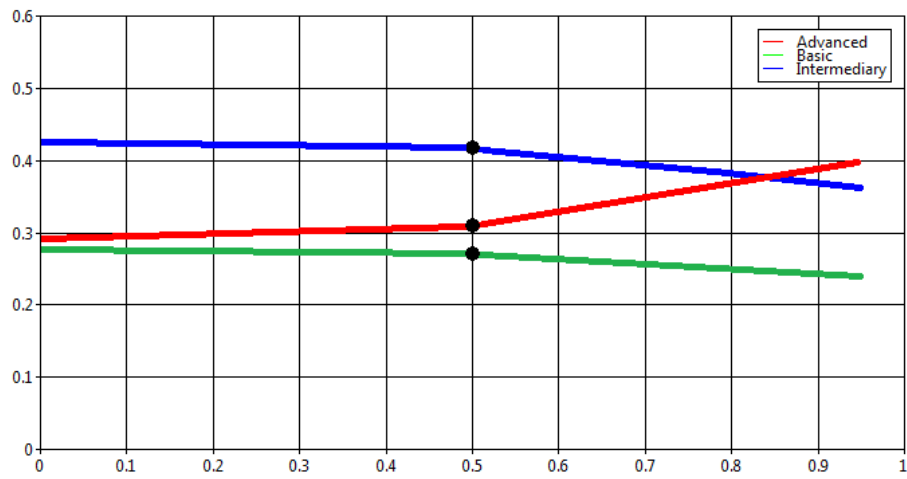


Fig. 14. Sensitivity analysis of 'Report Supply Points' FR-Result

Table 1. Assessment in Disaster Management domain through I-concerns and barriers.

		Conceptual	Technological	Organizational
Business	0,05634	Corporate technologies 0,53956	Corporate technologies 0,45917	Acceptable for governmental services 0,36127
		Easy to include new modules 0,16352	Easy to include new modules 0,32059	Corporate technologies 0,30904
		Run on different types of crisis 0,29692	Exchange of information between ... 0,14726	Exchange of information between ... 0,17550
			Mobile networks 0,02997	Mobile networks 0,04513
			Provide user reports 0,04301	User support 0,10906
		0,29696	0,16342	0,53961
Process	0,23883	Geographical based data 0,16095	Dynamically data update 0,08517	Exchange of information between ... 0,43017
		Quickly identifying a situation 0,35112	GIS consultation based tools 0,03369	Geographical based data 0,04035
		Report supply points 0,13682	Levels of importance of data 0,12245	Quickly identifying a situation 0,19201
		Single set of rules 0,35112	Owner of data reports 0,24200	Report supply points 0,23583
			Quickly identifying a situation 0,32923	Structured query implementation 0,06212
			Tracking responsible for data 0,18745	Tracking responsible for data 0,03952
		0,57143	0,28572	0,14286
Service	0,13102	Customized user interface 0,16786	Acceptable for governmental services 0,09671	Acceptable for governmental services 0,53593
		Easy to include new modules 0,36851	Easy to include new modules 0,40367	Exchange of information between ... 0,32967
		Experts provide instant feedback ... 0,23041	Provide access reports 0,04484	Experts provide instant feedback ... 0,07865
		Provide middleware services 0,23322	Provide middleware services 0,17337	Mobile networks 0,05576
			Provide user reports 0,04943	
			Unregistered users receive only ... 0,23198	
		0,30899	0,10945	0,58156
Data	0,57381	Customized user interface 0,10294	Dynamically data update 0,34769	Geographical based data 0,08575
		Experts provide instant feedback ... 0,11492	Exchange of information between ... 0,35932	Mobile networks 0,05457
		Geographical based data 0,03300	Levels of importance of data 0,07401	Provide middleware services 0,19192
		Report supply points 0,05147	Owner of data reports 0,04078	Reduce the number of vehicles 0,47100
		Single set of rules 0,59562	Provide access reports 0,02586	Report supply points 0,12114
		Structured query implementation 0,10205	Tracking responsible for data 0,15234	Structured query implementation 0,07562
		0,31081	0,49339	0,19580

5. Conclusion

This paper focused on disaster management knowledge identification and assessment cycle based on the AHP-based model called DIAM. An in-depth relational analysis was conducted in order to face the complex analysis of disaster management requirements dealing with interoperability barriers. A total of 127 requirements were split into functional, non-functional requirements and technical solutions by means of a two-step QFD design. A new relational method called IRM was conceived in order to support mapping of the main (filtered) DM requirements (total of 26) into interoperability perspectives based on Chen's EIF. The IRM acted as an important tool in designing the AHP structure of the DIAM, allowing a multi-layer diagnosis of the different organization views – from the strategic level concerning business, conceptual and process interoperability perspectives down to a granular view on disaster management capabilities.

An application case based on an important ICT company of southern Brazil, acting as a central entity in control of municipal information technology and communication, enabled relevant results and promising perspectives on the applicability of DIAM and DRMS improvements. Several unknown fragile capabilities are highlighted by the corroboration between DIAM and company experts and directors' perceptions in organizational performance in disaster management scenarios. Moreover, influence (sensitivity) analysis of the DM requirements identified on the company's overall maturity level, gave a preliminary support for a local agenda towards public and private efforts in facing municipal barriers.

It has been shown that crisis management should be linked directly to interoperability issues, allowing an integrated operation of all entities involved during an event. An interoperability assessment framework was then proposed in order to identify the potential interoperation in a disaster response management environment. The proposed DRMS development cycle framework was based on a set of reference architecture specifications (relating functional requirements to technical solutions), an interoperability diagnosis model (relating functional requirements to interoperability concerns) of a locality or private or public entity, in order to achieve an interoperable architecture.

DRMS promotes a review, evaluation and improvement the reference architecture for the reality of the entity analyzed with respect to its interoperability capabilities in DM scenarios. A SysML diagram modeling phase is also considered with a view to supporting DMIS specifications with special emphasis on DM and interoperability requirement modeling as well as complex behavior analyses relative to disaster response dynamics. These steps represent ongoing working.

Future works, in DIAM improvement, rely on the integration of other methods to support causal modeling of influencing variables such as Dematel, and multi-criteria decision making/analysis (MCDM/DA) methods such as Electre TRI and Promethee. The research will then continue towards to the improvement of the framework, verifying and validating the results found with other public/private entities (civil defense, firefighters, traffic engineering) involved in disaster response management initiatives. A broader picture of disaster management capabilities of Brazilian cities in disaster management can then be glimpsed.

References

- [1] Barthe-Delanoë, A., Bénaben, F., Carbonnel, S and Pingaud, H., Event-Driven Agility of Crisis Management Collaborative Processes, Proceedings of the 9th International ISCRAM Conference – Vancouver, Canada, April 2012.
- [2] Atlay, N. and Green, W., OR/MS research in disaster operations management, *European Journal of Operational Research*, vol 175, 2006, pp. 475–493.
- [3] EIF, CompTIA: European Industry Association. European Interoperability Framework - ICT Industry Recommendations, 2006. Retrieved from <http://www.comptia.org>.

- [4] Mukhopadhyay, B. and Bhattacharjee, B., Use of Information Technology in Emergency and Disaster Management. *American Journal of Environmental Protection*. vol. 4, No. 2, 2015, pp. 101-104.
- [5] Meissner, A., Luckenbach, T., Risse, T., Kirste, T. and Kirchner, H., Design Challenges for an Integrated Disaster Management Communication and Information System. *DIREN 2002 - 1st IEEE Workshop on Disaster Recovery Networks*. New York, 2002.
- [6] Bénaben, F., Touzi, J., Rajisiri, V., Trupitil, S., Lorré, J.P. and Pingaud, H., Mediation Information System Design in a Collaborative SOA Context through a MDD Approach. *Proceedings of MDISIS 2008*, pp. 89-103.
- [7] Iannella, R., Robinson, K. and Rinta-Koski, O., Towards a Framework for Crisis Information Management Systems (CIMS). 14th Annual Conference of the International Emergency Management Society (TIEMS). Trogir, Croatia, 2007.
- [8] Kim, J. K., Sharman, R., Rao, H. R. and Upadhyaya, S., Framework for Analyzing Critical Incident Management Systems (CIMS). *Proceedings of the 39th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2006.
- [9] Perry, R. W., Incident management systems in disaster management. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. Vol. 12, Iss 5, 2003, pp. 405 – 412.
- [10] Badiru, A. B. and Racz, L., *Handbook of Emergency Response: A Human Factors and Systems Engineering Approach*. ISBN 9781466514560, August 22, 2013 by CRC Press, pp.57-175.
- [11] Guedria, W., A Contribution to Enterprise Interoperability Maturity Assessment. 2012. 247 p. These: L'Universite Bordeaux 1. Talence, France, 2012.
- [12] Noran, O., Towards Improving Information Systems Interoperability in Disaster Management, in *Building Sustainable Information Systems (Proceedings of the 21st International Conference on Information Systems Development)*, H. Linger, et al., (Eds). 2012, Springer Verlag: N.Y. pp. 123-134.
- [13] European Commission, European Interoperability Framework (EIF) for European public services. Brussels, Belgium, 2010.
- [14] Guédria, W., Golnam, A., Naudet, Y., Chen, D. and Wegmann, A., On the use of an interoperability framework in coopetition context. In the 21st Nordic Workshop on Interorganizational Research. Vaasa, Finland, 2011.
- [15] Yahia, E., Aubry, A., and Panetto, H., Formal measures for semantic interoperability assessment in cooperative enterprise information systems. *Computers in Industry*, Elsevier, 2012, 63 (5), pp.443-457.
- [16] Rezaei, R., Chiew, T. K., Lee, S. P., and Aliee, Z. S. *Interoperability evaluation models: A systematic review*. *Computers in Industry*, 2014, 65(1), pp. 1-23.
- [17] Guedria, W., Chen, D. and Naudet, Y., A Maturity Model for Enterprise Interoperability, in *Proc. of the 4th IFAC/IFIP, OTM workshop, EI2N'09 (Enterprise Integration, Interoperability and Networking)*, Portugal, November 2009.
- [18] Cestari, J. M. A. P., Loures, E. R. and Santos, E. A. P., Interoperability Assessment Approaches for Enterprise and Public Administration. In: Demey, Yan Tang; Panetto, Herve (Eds.). (Org.). *OTM Industry Case Studies*. 1ed.: SPRINGER Lecture Notes in Computer Science, 2013, v. 8186, p. 1-759.
- [19] Noran, O., Integrating Environmental and Information Systems Management: An Enterprise Architecture Approach, in *Information Systems Development: Asian Experiences (Proceedings of the 18th International Conference on Information Systems Development (ISD 2009))*, W. Song, et al., Editors. 2011, Springer Verlag: Nanchang, China. p. 123-134.
- [20] Chen, D. and Daclin, N., Framework for enterprise interoperability, *Proc. Workshops and the Doctorial Symposium of the Second IFAC/IFIP I-EISA International Conference: EI2N, WSI, IS-TSPQ*, eds. H. Panetto and N. Boudjlida (ISTE, London, UK, 2006), doi:10.1002/9780470612200.ch6.
- [21] Zdravković, M., Noran, O., Panetto, H. and Trajanović, M., Enabling Interoperability as a Property of Ubiquitous Systems for Disaster Management. *Computer Science and Information Systems, ComSIS Consortium*, 2015, 12 (3), pp.1009-1031. <<http://www.comsis.org>>. <10.2298/CSIS141031011Z>. <hal-01142096>.
- [22] Frémont, G., Grazzini, S., Sasse, A., and Beeharee, A., The SafeTRIP project: improving road safety for passenger vehicles using 2-way satellite communications. In *ITS World Congress Busan, 2010*.
- [23] Preda, P. F., Kick-off meeting of the DECIDE project, 2010. Retrieved from <<http://predaplus.eu/kick-off-meeting-of-the-decide-project/>>. Accessed on January 10, 2015.
- [24] Evans, G., Blythe, P., Panou, M., and Bekiaris, E., Evaluating transport technologies for mitigating the impact of emergency events: findings from the SAVE ME Project. *Transport*, 2(3), 2014.
- [25] Brazilian Government, Executive Committee of the Electronic Government, e-PING: Electronic Government Interoperability Standards – Version of December 11, 2009. Retrieved from <http://eping.governoeletronico.gov.br/>.
- [26] Santos, E., M. and Reinhard, N., The Challenges in Establishing a Government Interoperability Framework: The e-PING Brazilian Case (2009). *CONF-IRM 2009 Proceedings*. Paper 54.
- [27] Novakouski, M. and Lewis, G. A., Interoperability in the e-Government Context. *Research, Technology, and System Solutions Program* (2012).
- [28] S.Trupitil, F. Bénaben, P. Couget et al. Interoperability of Information Systems in Crisis Management: Crisis Modeling and Metamodeling (2008). *Enterprise Interoperability Iii: New Challenges Industrial Approaches - Pages 583-594*.
- [29] Clausing, D., *Total quality development: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering*, New York, ASME, 1993.
- [30] Jain, N. and, J. and Singh, A. R., *AHP And QFD Methodology For Supplier Selection*, 2014. DOI: 10.7763/IPEDR.
- [31] Yang, C.-L., Yuan, B.J.C., and Huang, C.-Y., Key Determinant Derivations for Information Technology Disaster Recovery Site Selection by the Multi-Criterion Decision Making Method. *Sustainability* 2015, 7, 6149-6188.

- [32] Marchesi, M., Sang-Gook, K. and Matt, D. T., Application of the Axiomatic Design Approach to the Design of Architectural Systems: a Literature Review. The Seventh International Conference on Axiomatic Design. Worcester – June 27-28, 2013.
- [33] Cestari, J. M. A. P., A Contribution to Interoperability Capability Diagnosis in Public Administration Domain. Curitiba, 2015 364p. Thesis - Pontifical Catholic University of Parana. Curitiba, Curitiba, December 10, 2015.

APÊNDICE C – ARTIGO FINAL

Journal Expert systems with applications

A Disaster Response Management System Framework based on interoperability requirements assessment approach

Daniel da Silva Avanzi ^{a,b}, Vanessa Aline dos Santos ^a, Anderson Foggiatto ^a,
Eduardo de Freitas Rocha Loures ^a and Fernando Deschamps ^a

^a Industrial and Systems Engineering Graduate Program, Pontifical Catholic University of Parana, Curitiba, Brazil

^b Instituto das Cidades Inteligentes, Curitiba, Brazil

Abstract

Investments in situations involving Disaster Management (DM) situations are increasingly more common. Research in association to this topic and glimpse improvements in services provided to citizens so that players and systems involved are capable of acting together, thereby improving the outcomes of their actions. For the purpose of enabling information exchange and joint actions by the entities involved, compliance with interoperability requirements becomes a critical factor in promoting a better performance for the actions undertaken in crisis situations. As support, a reference architecture incorporating's that requirements becomes fundamental for the appropriate performance of actions associated to DM. However, the lifecycle of this architecture, linked to its adoption in government or private environments, must take into account the assessment of the entity's organizational maturity level in addressing the requirements of DM from the standpoint of interoperability for the concept of its Disaster Response Management System (DRMS). This is a major gap in existing literature and world initiatives, where emphasis is placed on technology aspects, without taking into account broader scope organizational barriers, of regulations, and of coordination of intra and inter-entity processes for those participating in a disaster scenario. To this end, a DRMS development cycle framework is being proposed as a methodology based on a diagnostics stage performed through a maturity assessment model called Disaster Interoperability Assessment Model (DIAM). The complexity involved in the stages of defining the concept, assessment and decision backed by the framework suggest the use of Multi-criteria Decision Making/Analysis (MCDM/A) methods for support: (i) the analysis of influence dimensions among the requirements involved (DM and Interoperability) by way of relational frameworks (methods QFD and Dematel) backing it (ii) the structuring of DIAM for the purpose of performing a diagnostic analysis of one additional capabilities and maturity levels (methods AHP, ANP), supporting (iii) prioritization of elements of the review of the reference architecture (method PROMETHEE) for the diagnostic achieved. A case study was carried out in an institution related to the DM domain responsible for the technology infrastructure in a state capital in southern Brazil. Results show a rich diagnostic base in identifying areas involved in barriers to better performance in DM, enabling the adoption of a more coherent DM reference architecture and the adoption of a reference architecture more coherent with the organizational capabilities, guiding in the evolution of the level of maturity.

Keywords: Disaster management system; interoperability assessment; disaster response; multi-criteria decision analysis.

1. Introduction

Regardless of its nature, a crisis is considered to be an abnormal situation, usually resulting from an instability that impacts a part of society with unacceptable consequences. Crises situations can emerge in different contexts - political, military, economic, humanitarian, social, technological, environmental or in healthcare [1] [2]. Lately, the increasing efforts by authorities in seeking solutions to improve their crises management performance have become noticeable. Part of this growth is due to increased citizen participation. Through the widespread use of technology, people are both more collaborative in crises moments and demanding more transparency by closely monitoring measures taken by the responsible parties [1].

In this sense, crisis management is becoming more and more relevant. Managing a crisis involves the participation of various entities working together in an action cycle based on four main phases: mitigation, preparedness, response and recovery [3]. The response phase is both relevant for meeting performance requirements and critical for the support that may be provided to any group impacted. Crisis management efficiency is measured by the speed and precision with which information is managed and exchanged among partners (i.e., organizations, people, and devices involved in collaborating). Thus, successful crisis management requires full integration of all parties involved, in particular in response actions, requiring full involvement from all stakeholders in addressing different inter and intra-organizational concern sets [1] [4].

This article presents a framework as a methodological basis to support the development cycle of a Disaster Response Management System (DRMS). The approach uses concepts of interoperability to allow diagnosis and improvement of the architecture and of information systems of institutions acting in disaster management. Interoperability perspectives should be broader, avoiding disconnection between technology bases (Architecture, DRMS) and organizational dimensions and processes involved in DM, a very common finding in the literature [5] [6]. In this sense, interoperability frameworks such as those proposed by Chen [7] orient adequate integrated visions among business perspectives, processes, services and information taking into account semantic and technological barriers. This extended approach to interoperability draws on Noran's work [8] which associates the phases of disaster management with the GERA Modeling Framework Section under mapping of importance applied to the quadrants of the Chen's framework.

An initial methodological step (framework) is the identification of the disaster management (DM) scenario through a review of literature and worldwide initiatives, which support the establishment of reference architecture in DRMS. The adoption of this architecture by public or private institutions requires a diagnostic step that the entity's different barriers to good DM performance from the standpoint of interoperability, undertaking the architecture review in a format that is more coherent to the capabilities and maturity level of the organization. The employment of Multi-criteria decision making/analysis (MCDM/A) techniques in solving complex real-world problems has increased exponentially [9]. Thus, the MCDM/A methods are applied in supporting the complexity involved in raising the knowledge needed for the diagnostic approach and decisioning process involved in the review and adoption of the reference architecture.

A three-dimensional conceptual model (cube) represents the dimensions involved in the cycle proposed by the framework, supported by specific MCDM/A methods: (i) dimensions of influence analysis among the requirements involved (DM and Interoperability) through relational structures (QFD and Dematel), supporting (ii) the structure of a diagnostic analysis model of the organizational maturity and capabilities (AHP, ANP methods), (iii) prioritization of the reference architecture element review (PROMETHEE method) according to the diagnostic obtained. The organization and integration of the MCDM/A methods characterize the DIAM - Disaster Interoperability Assessment Model, central entity of the framework proposed.

This paper is structured as follows. Section 2 presents the literature review investigating performance perspectives and effectiveness of actions taken in disaster management along with principles of interoperability. The knowledge gained from the main initiatives identified in the area is considered relevant. Also, this section introduces the main multi-criteria decision making/analysis concepts and methods, with emphasis on the AHP, ANP and PROMETHEE methods, as well as relational structures such as Dematel. Section 3 describes the Disaster Interoperability Assessment Model (DIAM) considering all the artifacts used in its development, as well as the support processes. In section 4, DIAM was applied in a company responsible for the municipal technology sector of Curitiba (a state capital of in southern Brazil), enabling the assessment of a certain entity in relation to its capabilities and barriers in interoperability. The conclusion sets out the main results, lessons learned and research perspectives.

2. Scientific scenario

2.1. Disaster Management

Regardless of the type of disaster, achieving an effective and coordinated action is a difficult task for first responders [10]. The different rescue organizations such as the police, the fire department, health services, civil defense and others must be efficient when working in collaboration, considering the inter and intra organizational aspects, in addition to the different hierarchical levels of each team involved [11]. Thus, information exchange becomes an essential prerequisite in dealing with the different types of disasters in a fast and coordinated manner. Proper management and integration of participants is required in enabling the exchange of information targeted at prevention or mitigation of crisis situations [1]. Therefore, the entire operation requires that information be kept as up to date as possible, that, in its turn, requires real-time communication among participants [2].

Thus, in the field of emergencies and disasters, Crisis Information Management Systems (CIMS) or Disaster Management Interoperability Systems (DMIS) have been a part of the prevailing concept currently in use in real cases as proposed in [12] [13]. Their main objective is to provide a complete set of ICT functions to address many needs of crisis management stakeholders. CIMS has been highlighted as a preferred system by entities to meet the main needs of crises situations, in particular, the exchange of information, enabling efficient joint and coordinated actions by the involved [12]. Some actions performed by these types of systems [14]: ongoing assessment throughout the crisis period; initiate, maintain and control communications; identify the incident management strategy; decision-making based on resources available; request additional resources; develop an organizational command structure; continually review action plans; provide call continuation, transfer and termination.

Therefore, it is noticeable that efficient crisis management occurs when the information is exchanged and updated in real time among the organizations involved. Communication is the common basis for execution of emergency response and is best approached from a systems perspective considering all the directional flows of information, instructions, and announcements [15]. These requirements suggest the use of technology tools to control and manage data according to each occurrence [11]. Most often the speed and accuracy with which information can be managed and exchanged between the partners (organizations, people, and devices involved in cooperation) contribute to the response efficiency levels achieved [1].

But this is not the only important part in enabling entities to operate. Organizations must adopt norms and standards established for their domains, thereby contributing to the interoperation of activities. Given syntactic

and semantic requirements, aligning organization's business aspects, such as processes and business, with the standards established is essential. Sector rules already address cultural and legislative aspects, different practices and a number of other factors that may contribute to loss of organizational interoperability [16]. It has become possible to notice that previous generation systems lacked this foundation of standards to rely upon. Every time a new system was built, a new communication and networking scheme had to be built. In many cases, interoperability was not taken into account in designing these systems [15].

With the need for better integration and management, organizations have also become concerned about the quality of their participation in the domain of action. Entities seek to evaluate their interoperation capability, aiming to improve the organization's performance and also contributing to a more efficient environment [8]. The assessment of a company's interoperability capability is crucial in identifying its weaknesses. In terms of activities relative to crisis management, every improvement may be even more important, since this domain is directly linked to emergencies involving risks for citizens. Once weaknesses have been identified, these activities can be improved and, in this way, the respective risks reduced, contributing to enhancing process efficiency. Evaluations can be performed in comparison with other entities (*a posteriori*) or with a generic domain (*a priori*) [17].

Among the phases of crisis management, the response step is the most important because this phase does not allow for errors, requiring coordinated and efficient actions, which is even more difficult with the participation of multiple entities. Interoperability aspects and their assessment contribute to the success of these activities [8]. Identifying best practices and technical requirements capable of supporting the development cycle of Disaster Response Management System (DRMS) can be found in existing initiatives in the crisis management domain. Systems are usually characterized as DMSs (Disaster Management Systems) and focus mainly on the response to a specific occurrence type. Some successful worldwide initiatives are: SAFETRIP [18] - Satellite application for emergency handling, traffic alerts, road safety and incident prevention (France); DECIDE [19] - Decision Support System for Disaster Emergency Management (Greece); SAVE ME [20] - System and Actions for Vehicles and transportation hubs to support Disaster Mitigation and Evacuation (United Kingdom); and e-PING [21] - Electronic Government Interoperability Standards (Brazil).

2.2. Interoperability

Interoperability is considered progressive when organizations start to communicate and share information, and together create performance conditions that would be hard to achieve individually [22]. Going beyond people, machines and systems, interoperability is becoming a key success factor in all areas. The concept of interoperable systems therefore requires considerable attention to ongoing assessment and improvement [16]. A broad concept, encompassing the ability of organizations to work together in pursuit of common and mutually beneficial goals, is representative of one of the definitions of interoperability [23]. This ability to interoperate can be affected by conceptual, technological and organizational barriers, which are classified as [17]: Conceptual - concerning different ways to represent and communicate concepts; Technological - in connection with data and systems incompatibility; Organizational - as regards different methods of work.

Enterprise Interoperability Assessment (EIA) allows the degree of interoperation between entities to be measured, which in turn helps in specifying integrated solutions for the domain as well as the adjustments and adaptations required to improve stakeholders' activities [16]. This type of evaluation identifies strengths and weaknesses imposed by interoperability barriers, enabling the prioritization of actions to enhance interoperability performance and maturity levels.

Literature presents several assessment methods and models [24]. Evaluations can be based on Interoperability Maturity Models (IMMs) in order to infer the potential interoperation degree [25]. Assessment approaches should be deployed according to the domain to be assessed and may require a brief survey to identify the attributes and criteria that best characterize the domain from an interoperability perspective [26].

The need to interoperate in crisis management activities determines how operations and services are provided. Responsibilities involved in this scenario can be divided into state, national or even international spheres, represented by different teams from different public or private entities such as civil defense, firefighters, police, etc. According to [8], entities mainly involved in crisis management should work through a life cycle consisting of phases (actions): prevention (Prev), preparation (Prep), response (Resp) and recovery (Recv). The authors seek to identify relationships in each stage of the crisis process, promoting improvement of inefficient points and enhanced performance of Disaster Management Organizations (DMOs).

In [27] the authors propose that the analysis and survey of interoperability requirements focuses on integrating lifecycle approaches applying the Enterprise Architecture approach (EA). A GERA modeling framework section is related to a lifecycle-based formalism, mapping each phase (identification, concept, requirements, design, implementation, operation, decommissioning) into disaster management task forces (DMTF) actions (Prev, Prep, Resp, Recv) [8]. Disaster management project lifecycles are then linked to Chen's Enterprise Interoperability Framework (EIF) [7] in order to highlight the degrees of importance of EIF quadrants in DMTF actions. This approach is closely related to our proposal, differing in the fact that each interoperability concern and barrier in EIF should be equally addressed in order to assess entity and system interoperability capabilities.

2.3. MCDM/A and assessment perspectives

MCDM is a broad term used to describe a set of methods that can be applied to support decision-making processes, taking into account multiple and often conflicting criteria [28]. Many methods exist in literature, with some being used in the field of disasters in specific decision area [28] [29] [30]. In this paper, these methods provide a basis to support different evaluation perspectives, with the decision being understood as the diagnostic positioning the entity at a certain maturity level, supporting the prioritization of actions to improve DRMS architecture in the light of interoperability requirements. To this end, our focus is restricted to exposing AHP/ANP, PROMETHEE and Dematel methods, which are very suitable for modeling the evaluation and analysis space involved in the proposed domain involved - crisis management and associated architecture.

The use of AHP method is appropriate for the evaluation of domains with characteristics of uncertainty, tacit notion and knowledge heterogeneity, as involved in the domain of disaster management. The method represents a structured technique for analyzing problems through pairwise comparison scales, with criteria being compared to each other [31]. The ANP method is a generalization of the AHP method that allows for the existence of interdependencies between criteria, making it possible to expand comparisons between relevant characteristics [32].

Dematel aims to solve complex problems, especially when these involve relations of influence among multiple factors [33]. Contributions through the decision model include explanation of interactions, visualization of cause and effect relationships and of which factors are most influential. As specialists involved in disaster management are understandably limited, the method can be applied to identify causality and influence the strengths of the factors for consideration. This influence factor can also support the generalization of the AHP method in the definition of ANP structure [29].

The PROMETHEE is a ranking method based on positive and negative preference flows for each alternative used to classify them according to defined weightings. An advantage of ranking approaches is that they avoid offsets between criteria and normalization processes, which change the original data [28]. Few methods have been used in the area of emergency management because it generally involves MCDM issues with multiple alternatives and criteria. However, applying ranking methods is advantageous in emergency management: simplicity, in principle without limit to the number of alternatives and no constraints on the size of the evaluation index system [30].

Each method can suit a specific goal in the assessment of a given crisis management scenario. The use of different methods makes it possible for each of them to contribute with their best feature, as can be seen in some papers [29] [28] [30]. In this way, a model may be created to address each purpose in a single evaluation scheme, enabling more accurate results to be obtained. This is explained in Section 3.3.

3. DRMS development cycle framework

The proposed DRMS development cycle framework aims to provide organizations with the opportunity to discover and evaluate their strengths and weaknesses, facilitating the prioritization of actions with a focus on improving their performance and increasing their maturity in disaster management. This appropriation of the method by companies can also contribute to the improvement of the process, providing feedback to the architecture that was initially defined. The idea of the proposal is to use the concepts found along with the aspects that directly reflect domain interoperability issues to achieve objectives in disaster management (DM). A stage of the cycle is completed when the appropriation of the method by companies can also contribute to the improvement of the process, feeding back into the initially defined architecture.

The proposed framework cycle begins with a Disaster Interoperability Assessment Model (DIAM), targeted at evaluating a reference DRMS architecture according to potential interoperability aspects. Therefore, the diagnosis promoted by DIAM enables a granular capability assessment of public or private entities involved in DM. This capability analysis enables the execution of a deeper relational review of the functional and technical requirements of DM attributes in the reference architecture. The main phases, steps and components of the development cycle framework are shown in Fig. 1 and described next.

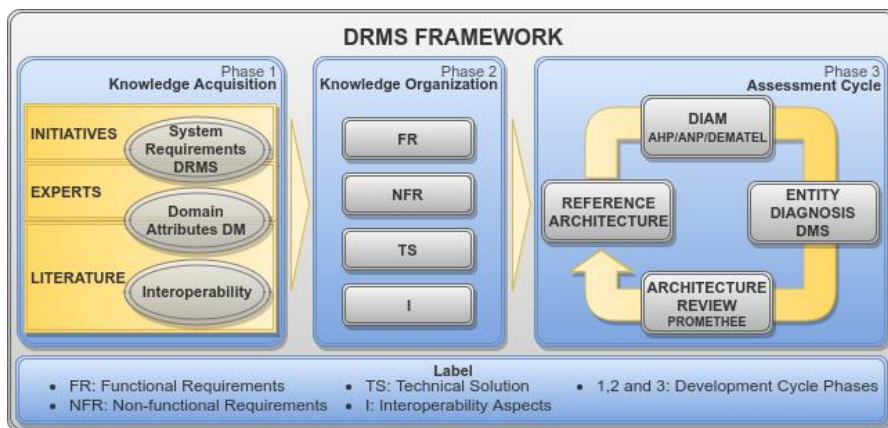


Fig. 1. DRMS development cycle framework.

3.1. Framework phases

Phase 1 (Knowledge Acquisition) involves obtaining the knowledge that serves as background for the development of the research, such as the identification of attributes through the literature, specialists and initiatives found in the crisis management scenario [19] [20] [21] [34] [35] [36]. In this step, a study [35] was also carried out to choose an interoperability framework suited to the scenario.

Thus, the aim of phase 2 (Knowledge Organization) is to separate the knowledge generated into four data sets (perspectives), facilitating the identification and use of the information obtained. First, as illustrated in Fig. 1, the characteristics were classified in three perspectives based on software engineering: Functional requirements (FR), non-functional requirements (NFR) and technical solutions (TS). The fourth, and last perspective, is interoperability knowledge (I), which later serves to submit the related DM attributes identified to interoperability assessment.

The entire knowledge acquisition and organization, as well as the relational modeling processes are illustrated in Fig. 2. The diagram is based on two QFD (Quality Function Deployment) structures – QFD1, QFD2. Shown in two different development routes: (i) requirements identification, analysis and technical solutions mapping acting as input for SysML specifications and analysis of the reference architecture; (ii) requirement identification, analysis and DM attribute mapping across interoperability perspectives in order to support the construction and execution of the DIAM – AHP/ANP/Dematel/PROMETHEE-based method. Both routes will provide inputs for phase 3, which will be further detailed in the following sections.

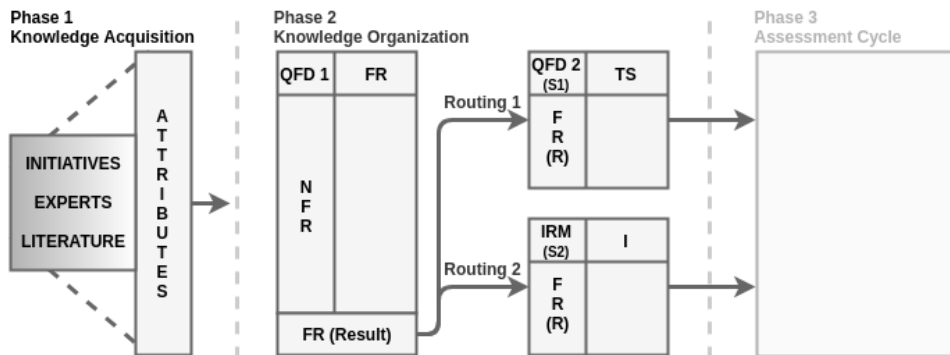


Fig. 2. Phase 1 and 2 - Knowledge Acquisition and Organization.

3.2. Three-dimensional relational model

The scheme presented in Fig. 3 illustrates, using a three-dimensional model (cube), the relationships among the perspectives mentioned (FR, TS and I). The use of the cubic representation facilitates interpretation of the interrelated modeling process described previously as well as the DRMS framework dimensions (Fig. 1). The relational analysis that emerges from each perspective (cube surface) is undertaken applying QFD and IRM (Interoperability Relational Matrix) structures detailed in [35].

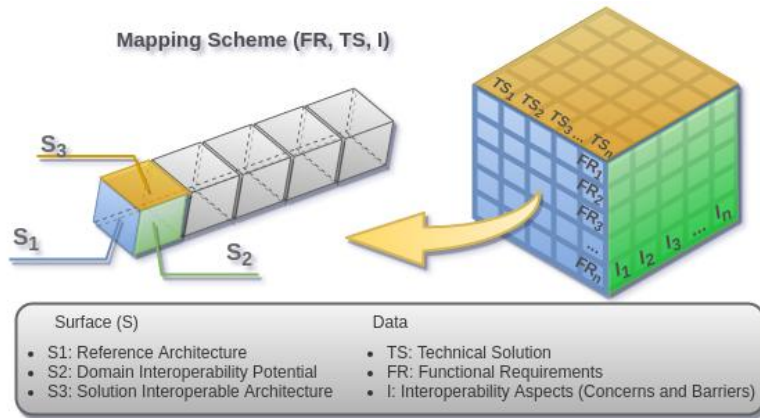


Fig. 3. Mapping through the cube components.

The S1 cube surface relates to QFD2 to identify how DM needs are covered by technical requirements. This matrix calculates improvement needs in technical solution (TS) requirements to address functional requirements (FR-Result). These importance levels can be applied by specialists through brainstorming processes [29]. Cross-matching of data undertaken by QFD2, shows the degree of importance of each functional requirement (FR-Result) for the technical solution (TS).

In relation to the S2 cube surface, the next step consists in an analysis of the interaction between FR-Result and interoperability (I) concerns applying IRM. The aim of this relational analysis, inspired on QFD and Axiomatic Design [37] methods, is to bring to the interoperability perspectives (I) the assessment of achievement of disaster management attributes (FR-Result). The concerns and barriers concepts were applied following Chen's EIF, in which the FR-Result is organized within the aspects of interoperability [26]. A similar approach is proposed in [38] for electronic government (e-government) attributes and interoperability perspectives. In order to facilitate a qualitative reasoning, IRM is process-based as shown in Fig. 4, following the Routes 2 in Fig. 2.

The IRM shows the degree of importance of each attribute in disaster management based on interoperability aspects as shown in the excerpt of Fig 10. This IRM structure acts as a basis for the design of the AHP/ANP/Dematel structure. A diagnosis of the private or public entity capabilities, for each DM FR-Result under I perspectives, applying DIAM relative logic, is then carried out. As a result, the entity's potential interoperability is assessed to infer its capabilities in disaster response management and support the reference DRMS architecture review (coherent with its capabilities).

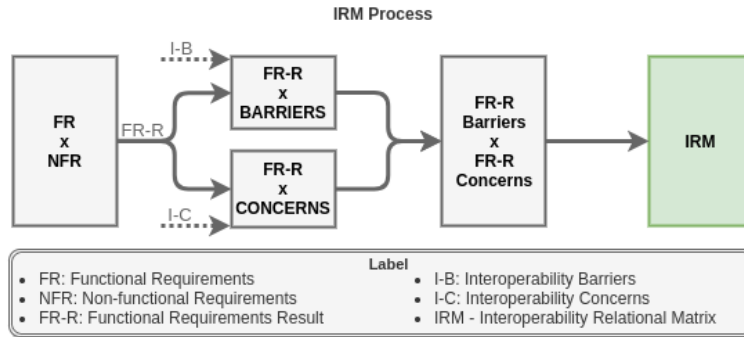


Fig. 4. IRM Process.

Finally, the cube's S3 surface shows a diagnostic perspective of the technical solution (TS) with S2 interoperability aspects. This analysis step, following the same relational analysis as applied to surface S2, will contribute to the review of the reference architecture's specifications, in order to meet system interoperability requirements. But unlike the previous methods, which provided a diagnostic analysis of the degree of maturity of the institution under evaluation, the objective of this stage is to identify and prioritize solutions focused on interoperability voted for the institution. The aforementioned prioritization is accomplished through the application of the PROMETHEE method, once considered appropriate for the ranking of alternatives.

The whole cube can represent the evaluation structure through MCDA methods enabling correlating its surfaces with the applications of the methods as well as the dependencies among them. The dependency relation of the MCDA methods, based on the cubic structure, is presented next.

3.3. MCDM/A structural and rational view

The cube representation serves as a reference structure devoted to guiding the integration of MCDA methods guaranteeing the pertinence of application with respect to the objectives (assessment space) of each method. In this way, it takes advantage of the QFD concepts to structure the architecture and create the source matrix (IRM) for subsequent evaluations. IRM results are used as the main input from the AHP and Dematel methods. The ANP method is supported by the data obtained from the two methods previously mentioned (AHP and Dematel), and its results are directly used in the prioritization of the architecture proposed in the PROMETHEE method. Fig. 5 shows the integration of these methods.

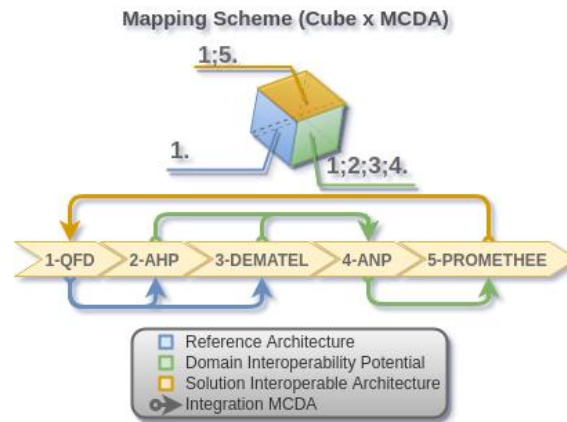


Fig. 5. Mapping Integration MCDA methods in Cube.

QFD is the foundation of the matrix-based framework (IRM) promoting the link of disaster management scenarios to interoperability aspects. In summary, an important data source for the development of the framework, which basically consists of disaster management attributes related to interoperability aspects. This structure will be the basis for applying AHP driving a diagnosis of the company capability to interoperate its activities in the scenario. The AHP structure is assembled respecting the data groups classified in terms of interoperability aspects, limiting comparisons to the same cluster. IRM also provides subsidies for the design of Dematel, a method aiming to map the degree of influence of each attribute through the whole DM scenario, allowing comparisons between different IRM structures (although also considering their weighting).

These methods (AHP and Dematel) form the basis for deploying the ANP method, given its use of AHP structures and the evaluation in sub-networks according to Dematel's influence mapping. Thus, the problem of structuring comparisons of the ANP method at different levels is solved by the Demantel method. The importance of extending the AHP method to ANP is related to not restricting comparisons to the same level and obtaining a more accurate diagnosis. The diagnosis is the result of the evaluation obtained through the DIAM (IRM/AHP/Dematel/ANP) step, which produces the degree of overcoming in all aspects in the disaster management scenario, making it easy to see the strengths and weaknesses of the institution's performance in the domain. This diagnosis will become the main input component to the PROMETHEE method, which, in turn, will allow the prioritization of the architecture created.

This paper includes an extended version in reference to the execution Phase 3 presented in the previous paper [35]. The add-on was developed to extend the diagnosis (assessment space) and structure the architecture review process. The basis remains the same until the application of the AHP method. The development cycle is centered on the IRM matrix obtained in Phase 2. The implementation of ANP will contribute to validating the results obtained in AHP, using Dematel that returns the degree of influence among attributes. In order to reinforce the reference architecture, the result of the method will be applied in a ranking structure, the PROMETHEE method. The Fig. 6 shows a detailed view of Phase 3.

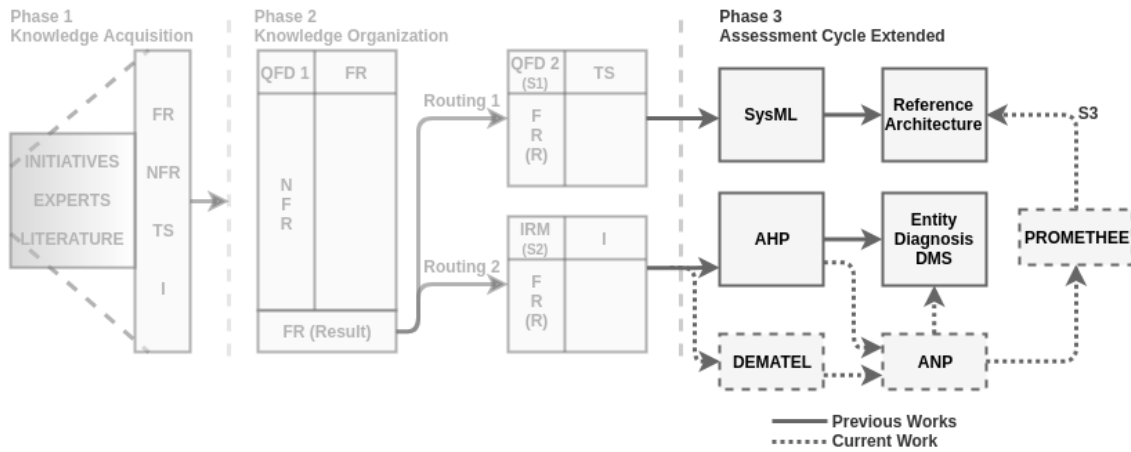


Fig. 6. Relational modeling process – Phase 3 extended.

Fig. 7 represents the IDEF0 [39] model mapping the activities performed in phase 3. This type of representation allows visualizing the inputs and outputs of each activity, as well as the interferences of the external environment that support each execution. The first diagnostic phase (AHP) can be found in detail in a previous paper, which will also serve as a model for the implementation of ANP. The other steps shown in the diagram are described in the following sections.

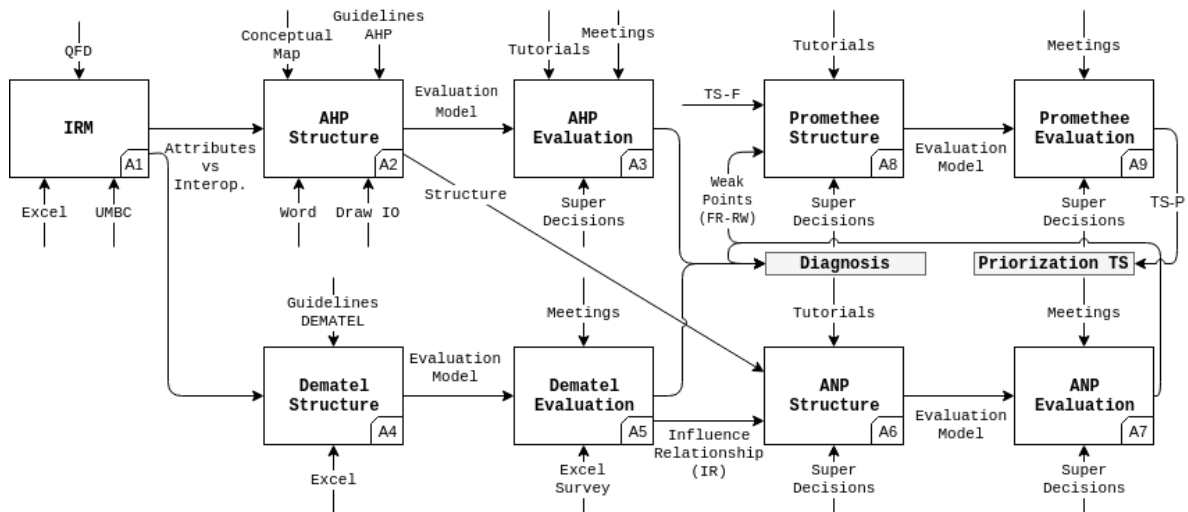


Fig. 7. IDEF0 of integration MCDA methods.

3.3.1. Dematel – ANP Modeling

The Dematel method is applied in this context to evaluate the degree of influence of the attributes resulting from the base matrix obtained through IRM. The method logic applies the graph theory, which presumes that an improvement in a cause factor may have a significant impact on the improvement of related effect factors. Thus, it is possible to graphically show the relations of the factors, their respective intensities and the resulting degree of influence, received and resulting in the system [40]. In order to facilitate implementation, Sumrit's [33] studies present a 6-step method deployment procedure scheme, adapted for the present cycle.

The first step consists essentially in an attribute influence assessment performed by specialists in Disaster Management. A range of values is defined in which lower values mean that the attributes have little to no influence on each other, and higher values are indicative of high levels of influence. A five-level scale of influence among the attributes was adopted in this model: *No Influence (0)*; *Low Influence (1)*; *Moderate Influence (2)*; *High Influence (3)*; and *Very High Influence (4)*.

Next, the average of the results given by specialists is calculated. In the second step, the unified results of the experts must be standardized. This process is initiated by the sum of the influences of each attribute, based on the largest value of each dimension (x and y) in the matrix. From these results, the lowest value is taken as the basis for building the normalized matrix, according to the formula provided by [33].

In the third step, multiplication by the identity matrix is carried out, resulting in the total influence among factors, which will allow calculating the inverse matrix. The fourth step calculates the intensity of the effects caused and received in relation to the other factors. When the expression is positive, the factor is influential on the system, if negative, the factor is more influenced by the system. The steps defined so far (1 - 4) allow a threshold to be define to determine the system relevant influences, represented in the last step through a two-dimensional graphic map. Another important step is to set the boundaries for the system's relevant influences, resulting in influences (not relevant) that are not shown on the map. This process depends on the threshold adopted, responsible for defining the effects that will not be displayed based on their intensities, represented in step five of the method. The result of the entire process of the Dematel method allows visualizing different dimensions, such as the *most active*, *most influential* and *most influenced attributes*.

The attributes defined by the Dematel method as the more influential will be used in the construction of the ANP structure, called Influence Relationship (IR). This is a particular and more advanced case of the AHP method, but both aim to evaluate problems through pairwise attribute comparisons using a common logic structure and scale, differing only in their approach. According to [32], AHP carries out pairwise comparisons of elements at an immediately higher level. ANP enables identification of influence flows and establishes comparisons between one element of a group with respect to two or more elements of another group in the structure, regardless of its level - not necessarily having to be above or below the chain being assessed.

Due to ANP making it possible to compare elements of a cluster with at least two of another, some attributes could not be added. In this way, attributes selected from the Matrix (Fig. 8) have influence values equal to or greater than 0.009 (previously normalized), and these attributes must have at least one more attribute influenced in the same cluster. It is possible to notice that attribute J (Cluster B) has a degree of influence greater than 0.009 in relation to attributes K and L, in the same cluster (C).

			Cluster A		Cluster B		Cluster C			
MATRIX OF TOTAL RELATIONS "T"			1	2	3	4	5	6		
ATTRIBUTES			Attribute G	Attribute H	Attribute I	Attribute J	Attribute K	Attribute L		
1	Attribute G		0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,0319	INFLUENTIAL
2	Attribute H		0,003	0,000	0,003	0,003	0,005	0,003	0,0544	
3	Attribute I		0,001	0,002	0,000	0,001	0,006	0,000	0,0252	
4	Attribute J		0,007	0,004	0,000	0,000	0,010	0,010	0,1207	
5	Attribute K		0,002	0,002	0,007	0,001	0,000	0,001	0,0276	
6	Attribute L		0,007	0,007	0,003	0,010	0,001	0,000	0,1055	
			0,0647	0,0594	0,0377	0,0484	0,0305	0,0468	INFLUENCED	

Fig. 8. Example of Total Relations Matrix.

The total relations matrix enables obtaining the attributes that most influence others. Related attributes are discarded when they do not have at least one other attribute in the same cluster, resulting in the influence attributes selected for application in ANP. Influenced attributes, which are in isolated clusters, are discarded from the evaluation of the ANP. Attributes that have at least one relation to a pair are selected for the evaluation, even if the cluster is different from the influence attribute's. An interesting detail of this process is that the results obtained through AHP and ANP can be compared and evaluated, and in the event of major divergences in the diagnoses, the prevalence of inter-clusters influence factors by the selected attributes can be inferred, or even suggest the existence of inconsistencies in the modeling process performed (incomplete assignment of attributes to clusters). Some divergence must occur, since ANP extends the pairwise relations of the hierarchical structure of evaluation to the new, more robust, relations suggested by the Dematel method. This should generate a better diagnosis in the face of the disaster management scenario.

ANP allows to diagnose each evaluated attribute's degree of compliance, making it possible to identify the weak and strong points. Thus, it is possible to evaluate the entity's level of interoperability, while providing a mapping of the diagnostic weighting (As Is state) in their different evaluation attributes and interoperability perspectives in the disaster management scenario. The structure of the ANP model is shown in Fig. 9.

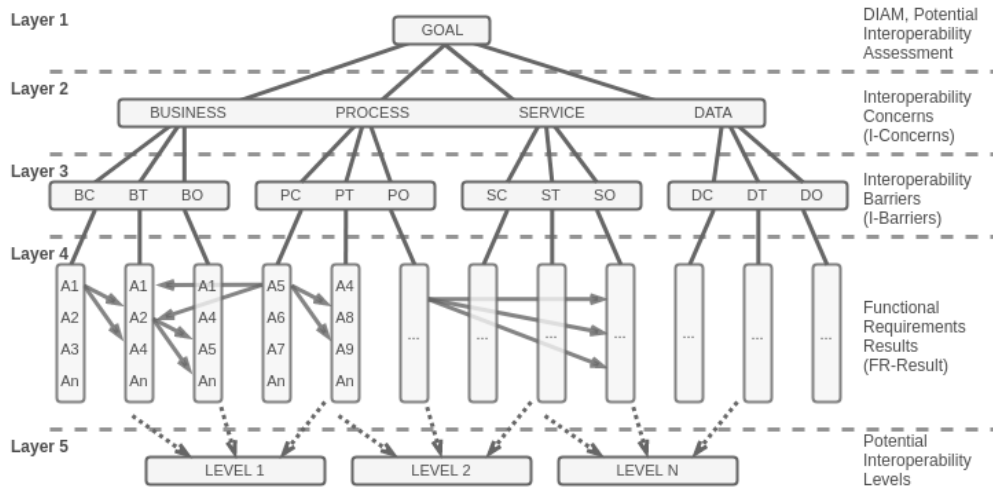


Fig. 9. DIAM ANP Structure.

ANP provides (together with Dematel) an extension of the association space among the attributes (FR-R) and interoperability perspectives (I) represented in the structure in Layers 2 and 3. Layer 4 (also Fig. 9) represents the main changes in the model with respect to the AHP structure used in previous papers. This Layer (4) enables checking the existence of links among attributes of different clusters; the Dematel method points out these relationships. In this way, correlations among important aspects in disaster management, that had not previously been linked, can be established.

The resulting diagnosis can intrinsically guide different decision-making spheres of the institution active in disaster management, such as the establishing areas already acting with a high degree of competence and those with a level of shortfall, serving to align the strategic positioning of organizational actions. In addition, as an object of the scope proposed by DIAM, a review of the reference architecture of the elements diagnosed through the PROMETHEE method may be undertaken, adapting the architecture to the entity's level of maturity. Considering that the entities being evaluated already have capabilities in acting in disaster management, points identified as weak should be reinforced for prioritization of the architecture. This process can also contribute to driving maturity for the model proposed through the important adjustments defined in the design of the reference architecture (TS) required for action in the disaster management scenario.

Integration with PROMETHEE, which makes use of the diagnosis obtained by ANP, is carried out in 4 steps: *select the weak points (1), isolate (2), normalize (3) and reverse (4)*. The model predicts that an institution's successful performances (identified by ANP prioritization vectors) are not important for the next stage that considers only the aspects still leaving something to be desired, that is, the weaknesses (also diagnosed by the ANP prioritization vectors). Thus, 20% of the weaker attributes (such as less service) obtained through the diagnosis will be used, these will be called Functional Requirements Result Weak (FR-RW). The result is then isolated and normalized. Then, the values of attributes of lower relevance are reversed, becoming more representative in terms of the characterization of the PROMETHEE evaluation matrix. That is, the lower the capacity of the institution with respect to a particular attribute, the higher the resulting prioritization of the architecture through the PROMETHEE analysis.

3.3.2. PROMETHEE Modeling

The conclusion of the Evaluation Cycle stage (Fig. 7, IDEF0's actions 8 and 9) is represented by the process of review of the reference architecture to better contemplate the weaknesses identified by the diagnosis. The stage of the cycle is called Architecture Review and basically results in the prioritization of the technical solutions (TS-P) in disaster management based on the possibilities of interoperable services of the institution being evaluated. The PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Evaluation) method is used to support this process and applying it results in prioritizing the main points in the architecture with direct impact on the institution's improvement of the different capabilities and maturity.

The method, when applied in the disaster management scenario, uses part of the reference architecture obtained at the beginning of each process (TS-F, surface S1 cube Fig. 3) and the weaknesses identified in the diagnosis of the previous evaluation (FR-RW, surface S2 cube Fig. 3). Fig. 10 shows the structure used in PROMETHEE for the prioritization of the reference architecture (TS-P) in the disaster management scenario from the standpoint of interoperability requirements.

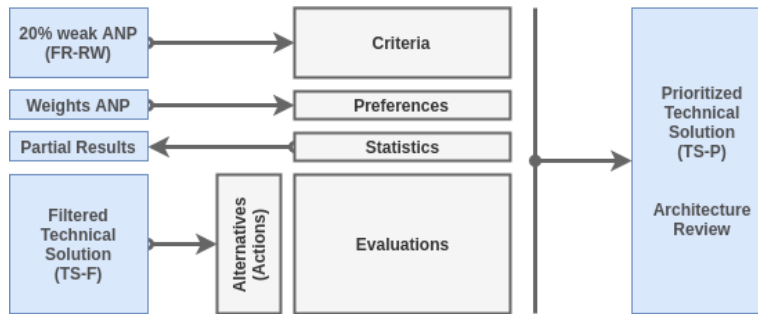


Fig. 10. PROMETHEE Structure Model.

Method inputs include the composition elements of its evaluation matrix as criteria, their weightings and alternatives, as well as the parameters inherent to the method (preference function $P(a,b)$ and preference thresholds p and indifference q). Since the objective is to identify and prioritize solutions to drive growth of environmental interoperability, the attributes selected (Criteria) will be the most negative returned by the ANP method, called Functional Requirements Result Weak (FR-RW). The weighting criteria (Preferences) are distributed according to the classification performed in ANP, where values were inverted. The goal is to address the most fragile elements in the decision of interoperable technologies and thus improve the organization's maturity analysis by proposing an improved architecture. This ensures that the review of architecture will be driven by characteristics not met in a given assessment, mapping these attributes against the existing technical solutions (Alternatives).

For a more pertinent prioritization of the architecture of the company evaluated, TS attributes can be previously filtered in order not to appoint properties unattainable by the institution. This procedure avoids that needs found through FR-RW cannot be met in an architecture that is within the reach of the institution. This filter can be applied through interviews with officials of the institution evaluated, similar to the one carried out in the implementation in the ANP method. If the institution has no restrictions, prioritization must be performed addressing the entire architecture created. This procedure allows attaining solutions of deficiencies that could

not be achieved by indicating of an architecture that is not feasible. In the current context, after filtering the architecture's service possibilities, the resulting attributes are called Filtered Technical Solutions (TS-F).

For the other preference functions and levels of preference/indifference, the standard values suggested by the method were applied through some calculations. The evaluation scale applies values between 0-10 where the intervals represent the technology's different levels of influence in developing the attribute evaluated: *No Influence* (0); *Low Influence* (>0 and ≤ 2); *Moderate Influence* (>2 and ≤ 6); *High Influence* (>6 and ≤ 8); and *Very High Influence* (>8 and ≤ 10).

With all input parameters correctly entered, the main result of the PROMETHEE method is the prioritization of the scenario evaluated against the disaster management architecture criteria identified. This prioritization is identified in the framework as Prioritized Technical Solution (TS-P), also considered as the last artifact generated in an execution of the DIAM evaluation model. However, due to being a cycle, the evaluation process proposed in the framework does not establish a limit of iterations. The goal is that with each diagnosis and prioritization of architecture, the institution becomes better able to act in the scenario of disaster management, which in turn is very variable at each crisis event. In section 4, the model is applied in a real interoperability assessment case.

4. Application case

The intent of the application case is to apply DIAM in diagnosing a given entity's interoperability capabilities for disaster management related criteria and prioritize the reference architecture with a view to promoting continuous improvement, following the approach shown in Fig. 6. The results can contribute to identifying its strengths and weaknesses, directing decision-making actions in improving the organization's performance in disaster management by adopting a DRMS architecture. The evaluation was performed with the Super Decision tool that supports the use of AHP/ANP with a spreadsheet editor used to support the application of the Dematel method. The Visual PROMETHEE platform was also used as support for the PROMETHEE method.

4.1. Entity characterization and DIAM application

The entity chosen for the application of the DIAM evaluation model is responsible for the municipal department of technology of Curitiba. This choice is based on the fact that this entity is directly linked to managing information technology and communication at the municipal level. The city of Curitiba leads the ranking of the most digitized municipalities, according to the Digital Cities Brazil Index (DCBI) published by the national Center for Research and Development in Telecommunications (CPqD), covering 100 Brazilian cities. The company selected is responsible for defining and identifying the city's ICT needs, delivering and supporting all city administration departments.

For the assessment, company experts were selected based on their operational and technical backgrounds as well as skills in crisis management. The interviews were conducted in pairs, and the answers were collected considering a consensus achieved through geometric means pursuant to AHP/ANP, addressing Dematel and PROMETHEE requirements. Data collection as well as calculations defined in each of the DIAM methods are supported by tools that facilitate their implementation.

Following the steps of the stipulated DIAM cycle, the first evaluation occurs through the application of the AHP method. To this end, the model must be properly structured according to the scenario of interoperability in disaster management obtained from IRM. Super Decisions is the tool used for support, offering a user-friendly

interface for input evaluations. In this way, the company specialists were able to answer the evaluation questionnaire directly in the tool. The AHP assessment is based on pairwise comparison between nodes. Fig. 11 shows an example of this type of comparison, comparing the overall interoperability aspects in the crisis management domain.

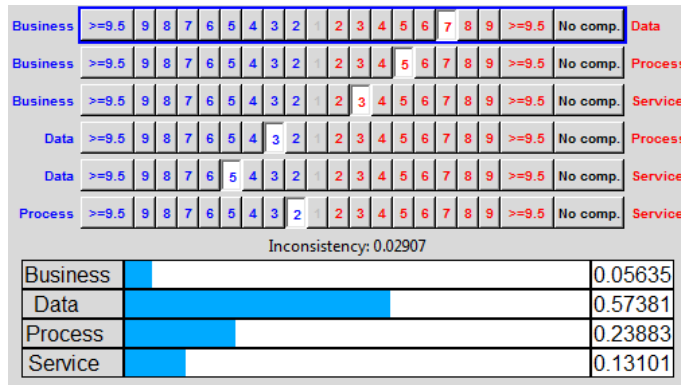


Fig. 11. Layer 1, AHP structure I-concerns cluster pairwise comparisons.

The assessment profile indicates a relative relevance for interoperability data and process concerns in relation to disaster management. This is due to the fact that the capability to extract and exchange data from heterogeneous sources is very important in being aware of the conditions on the ground and avoiding potentially life-threatening situations for all involved. Although the diagnosis obtained with the application of the method, the DIAM model predicts the possibility of thinning the results sustained by the ANP method in consumption of the results indicated by Dematel.

The Dematel assessment begins with an averages matrix of pairwise comparisons from experts. In this step, respondents are asked to indicate the degree of direct influence each element exerts on each element. The basis of the data obtained is the result of IRM applied, using only the attributes with greater relevance for the scenario. This process - as well as the application of all the formulas used, was made through the support of a spreadsheet editor, as shown in the excerpt in Fig. 12.

LABEL	Level Description	Level Number	EXPERT NUMBERS		2
	No influence	0	EXPERT 1 EXPERT 2		
	Low Influence	1			
	Moderate Influence	2			
	High Influence	3			
	Very High Influence	4			

RELATION MATRIX		1	2	3	4	5	6						
ATTRIBUTES		Acceptable for governme...	Corporate technologies	Customized user interface	Dynamically data update	Easy to include new modules	Exchange of information ...						
1	Acceptable for governmen...	0	0	2	3	1	1	1	2	2	2	3	
2	Corporate technologies	1	1	0	0	1	1	1	1	3	3	0	1
3	Customized user interface	1	2	1	1	0	0	2	1	3	3	2	1
4	Dynamically data update	1	1	2	1	1	1	0	0	1	1	2	1
5	Easy to include new mod...	4	4	1	3	2	2	1	1	0	0	3	3
6	Exchange of information ...	3	3	2	3	1	2	2	2	1	2	0	0

Fig. 12. Dematel Expert Assessment excerpt.

After the diagnosis made through the DIAM ANP/Dematel approach, it is possible to take advantage of the information generated to review the reference architecture created in the crisis management scenario. Attributes with greater deficiency obtained in the diagnosis and the Technical Solutions pertinent to the performance of the institution (TS-F) are used as input in this step. The method applied in this case helps to prioritize the attributes capable of generating greater impact in the crisis management process. The type of influence (min, max), the weight (obtained from ANP), the preference function, the preference/indifference values (suggested by PROMETHEE's internal mechanism) and the Filtered Technical Solutions (TS-F) must be defined for each attribute as input data. Fig. 13 shows all such input data together with the expert's evaluation, following the structural components of PROMETHEE shown in Fig. 10.

Disaster Response ...	Mobile netw...	Provide user...	Exchange of...	Mobile netw...	Geographical...	GIS consulta...	Structured...	Tracking res...	Acceptable fo...	Provide midd...	Provide user...	Provide a...	A
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Cluster/Group													
Preferences													
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	B
Weight	25,75	17,87	5,21	5,15	5,14	3,35	3,34	5,25	5,10	2,85	9,98	11,01	
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	
- Q: Indifference	2,709	2,046	2,385	2,648	2,680	2,697	2,714	2,754	2,52	2,14	1,94	2,78	
- P: Preference	6,664	3,472	5,826	6,472	6,489	6,624	6,229	6,533	5,89	4,99	3,71	4,80	
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Statistics													
Minimum	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	E
Maximum	10,000	7,000	10,000	10,000	10,000	10,000	9,000	9,000	9,00	10,00	7,00	9,00	
Average	4,353	0,882	5,529	4,235	4,706	5,294	2,882	4,059	4,29	5,12	1,24	1,18	
Standard Dev.	3,289	1,711	2,872	3,191	3,195	3,268	3,046	3,208	2,89	2,45	1,80	2,36	
Evaluations													
Attributes based...	0,000	1,000	5,000	0,000	3,000	7,000	9,000	0,000	0,00	3,00	3,00	3,00	D
Common datasets	3,000	0,000	7,000	2,000	7,000	7,000	7,000	5,000	1,00	3,00	1,00	1,00	
Current technolo...	9,000	0,000	5,000	8,000	9,000	9,000	9,000	1,000	7,00	5,00	1,00	0,00	
Data distribution ...	9,000	1,000	9,000	8,000	3,000	5,000	1,000	1,000	7,00	7,00	3,00	3,00	
Digital maps	7,000	0,000	1,000	6,000	10,000	10,000	3,000	5,000	5,00	5,00	1,00	1,00	
Events timestamps	5,000	7,000	7,000	7,000	9,000	9,000	0,000	3,000	0,00	0,00	7,00	9,00	
Integrated data ...	7,000	1,000	9,000	7,000	5,000	5,000	3,000	5,000	5,00	3,00	1,00	0,00	
Modular approach	5,000	0,000	3,000	5,000	0,000	0,000	1,000	3,000	7,00	7,00	0,00	0,00	
Multiple data for...	1,000	0,000	3,000	1,000	3,000	3,000	5,000	3,000	1,00	3,00	0,00	0,00	
Network power s...	0,000	0,000	1,000	0,000	3,000	3,000	0,000	0,000	1,00	3,00	0,00	0,00	
Secure shell	1,000	0,000	3,000	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000	7,00	9,00	0,00	0,00	
Specialists encry...	3,000	0,000	5,000	3,000	1,000	0,000	0,000	9,000	5,00	7,00	0,00	0,00	
Standart data sp...	1,000	1,000	3,000	1,000	5,000	7,000	5,000	9,000	7,00	7,00	0,00	0,00	
Systemized repo...	1,000	3,000	5,000	1,000	5,000	3,000	7,000	9,000	5,00	5,00	3,00	5,00	
Unified file forma...	7,000	0,000	9,000	7,000	10,000	9,000	7,000	1,000	9,00	10,00	0,00	0,00	
Uniform emergen...	5,000	0,000	9,000	5,000	5,000	9,000	0,000	5,000	1,00	5,00	0,00	0,00	
Wireless commun...	10,000	1,000	10,000	10,000	1,000	3,000	0,000	9,000	5,00	5,00	1,00	0,00	

Fig. 13. PROMETHEE input data.

The area marked by the letter A represents the criteria (FR-RW) selected using the Dematel method. The field labeled B contains, in addition to the weightings (also resulting from Dematel and already inverted and normalized), the preference functions and thresholds indicated in the wizard of the tool used. C represents the Filtered Technical Solutions (TS-F) used in prioritization. The area marked by the letter D shows the expert's assessment regarding the different levels of influence of the technology for the development of the attribute evaluated based on a 0 to 10 scale. The last quadrant (E) brings the statistics according to all the parameterizations and will be used in the different perspectives of method prioritization.

4.2. Results and analysis

To start the DIAM application, pairwise assessments are carried out at each level of the AHP structure resulting in partial rankings (priority/eigenvector) that highlight focal diagnosis (degree of importance) relative to entity capabilities. Fig. 11 shows the degree of importance attributed to Data and Process concerns from the resulting priority vector (Data: 0.57381; Process: 0.23883; Service: 0.13101; Business: 0.05635).

The same reasoning is deployed through the AHP levels and criteria resulting in the values indicated in Fig. 14. The structure of the table follows Chen's EIF, closely related to AHP structures, thereby facilitating visualization of the overall priorities and entity capabilities. Each quadrant corresponds to an AHP cluster and its priority vector in FR-Result DM requirements (green bar graph). I-concerns (Layer 1) are indicated by the blue bar graph and I-concerns/barriers (Layer 2) are indicated by the orange bar graph).

		Conceptual	Technological	Organizational
Business	0,05634	Corporate technologies 0,53956	Corporate technologies 0,45917	Acceptable for governmental services 0,36127
		Easy to include new modules 0,16352	Easy to include new modules 0,32059	Corporate technologies 0,30904
		Run on different types of crisis 0,29692	Exchange of information between ... 0,14726	Exchange of information between ... 0,17550
			Mobile networks 0,02997	Mobile networks 0,04513
			Provide user reports 0,04301	User support 0,10906
		0,29696	0,16342	0,53961
Process	0,23883	Geographical based data 0,16095	Dynamically data update 0,08517	Exchange of information between ... 0,43017
		Quickly identifying a situation 0,35112	GIS consultation based tools 0,03369	Geographical based data 0,04035
		Report supply points 0,13682	Levels of importance of data 0,12245	Quickly identifying a situation 0,19201
		Single set of rules 0,35112	Owner of data reports 0,24200	Report supply points 0,23583
			Quickly identifying a situation 0,32923	Structured query implementation 0,06212
		0,57143	0,28572	0,14286
Service	0,13102	Customized user interface 0,16786	Acceptable for governmental services 0,09671	Acceptable for governmental services 0,53593
		Easy to include new modules 0,36851	Easy to include new modules 0,40367	Exchange of information between ... 0,32967
		Experts provide instant feedback ... 0,23041	Provide access reports 0,04484	Experts provide instant feedback ... 0,07865
		Provide middleware services 0,23322	Provide middleware services 0,17337	Mobile networks 0,05576
			Provide user reports 0,04943	
		0,30899	0,10945	0,58156
Data	0,57381	Customized user interface 0,10294	Dynamically data update 0,34769	Geographical based data 0,08575
		Experts provide instant feedback ... 0,11492	Exchange of information between ... 0,35932	Mobile networks 0,05457
		Geographical based data 0,03300	Levels of importance of data 0,07401	Provide middleware services 0,19192
		Report supply points 0,05147	Owner of data reports 0,04078	Reduce the number of vehicles 0,47100
		Single set of rules 0,59562	Provide access reports 0,02586	Report supply points 0,12114
		0,31081	0,49339	0,07562
				0,19580

Fig. 14. Assessment in Disaster Management domain through I-concerns and barriers.

Deployment of the Dematel method enables visualization of attribute influence aspects. An interesting perspective, capable of promoting understanding for decision making, centered in the visualization of the influence map of each attribute. Such a graphic view enables perception of which attributes are actually influencing others, and can help in deciding how important this may be to the scenario in case in point. In addition to the individual analysis of the attributes, these can be classified into three distinct classes in comparison to each other: more active, more influenced and more influential. The latter class was used to carry out the ANP model evaluation, enabling assessments between attributes in different clusters. Fig. 15 shows the influence map of an attribute.

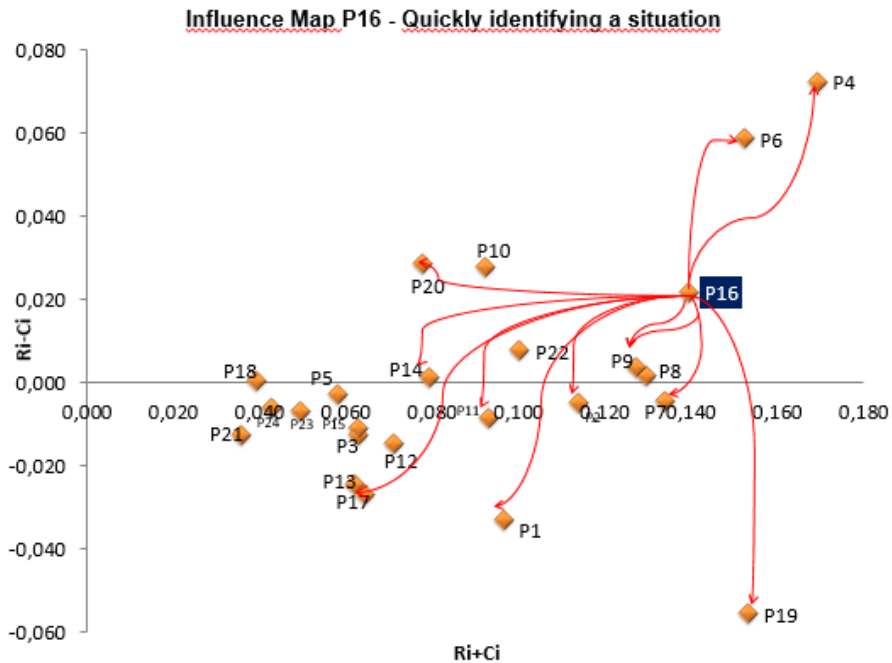


Fig. 15. Influence Map Excerpt.

The graph shows the result for one of the main influencing attributes in the DM scenario. Figure 23 shows that 'Quickly identifying a situation' (P16) is strongly influenced by 'Dynamically data update' (P4) and 'Exchange of information between teams' (P6), but also exerts strong influence on many others attributes such as 'Experts provide instant feedback' (P7), 'Geographical based data' (P8) and 'GIS consultation based tools' (P9). The relations among attributes of the same cluster have already been well defined through the AHP method, resulting in priorities attributed by the Dematel method in identifying the influence perspectives of different clusters.

Based on the influence map, attributes of a given cluster that influence at least two other attributes of another cluster could be identified. In the evaluation, three more influential attributes were identified in the perspective of different clusters that will be used to define the structure of the ANP method, being: Dynamically data update (P4), Exchange of information between teams (P6) and Quickly identifying the situation (P16). Unlike AHP, that works with relationships only in the same hierarchy, ANP allows comparisons between different data

groups. In the structure, multi-clustered connections were also considered despite this logic requiring more effort in structuring more complex comparisons, but, on the other hand, leading to more accurate evaluation results.

The Fig. 16 shows the attributes that most influence others, with application of ANP requiring at least two attributes that are influenced in the same cluster. Isolated influence attributes in a given cluster are discarded (marked with 'x' in the figure).

4 Dynamically data update		Data Aspect - Technological
6 Exchange of information between teams		Data Aspect - Technological
7 Experts provide instant feedback ...		Data Aspect - Conceptual
8 Geographical based data		Data Aspect - Conceptual
9 GIS consultation based tools		x
19 Run on different types of crisis		x
22 Tracking responsible for data		Data Aspect - Technological

6 Exchange of information between teams		Data Aspect - Technological
4 Dynamically data update		Process Aspect - Organizational
7 Experts provide instant feedback ...		x
16 Quickly identifying a situation		Process Aspect - Organizational
19 Run on different types of crisis		x

16 Quickly identifying a situation		Process Aspect - Organizational
7 Experts provide instant feedback ...		Data Aspect - Conceptual
8 Geographical based data		Data Aspect - Conceptual
19 Run on different types of crisis		x

Fig. 16. Dematel Result to ANP.

The final cluster named 'Alternatives', relative to the last AHP/ANP level, corresponds to the maturity level of the entity assessed (interoperability potential). The comparative results of the AHP/ANP evaluation (Fig. 17) show small changes. As can be seen, although the changes are not so expressive, in some cases they can even alter the order of the results depending on the relations of influence established.

RESULTS ANP			RESULTS AHP		
Name	Graphic	Normals	Name	Graphic	Normals
Basic		0,275689	Basic		0,271795
Advanced		0,303746	Advanced		0,30991
Intermediary		0,420566	Intermediary		0,418295

Fig. 17. Comparison Results ANP x AHP.

The final result (ANP) can be seen in the radial chart in Fig. 18 and identifies the organization's positioning in the intermediary range (0.420566) slightly trending towards advanced (0.303746). This result leads us to infer that the company still has several aspects to improve in increasing efficiency in the scenario discussed. The results can also be analyzed in lesser granularity, providing a relevant support for this analysis and diagnosis, as well as a complete view of the entity's interoperability capabilities.

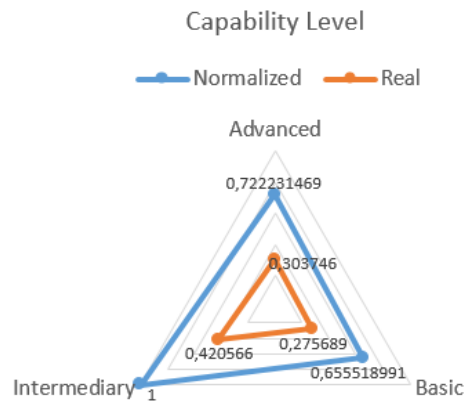


Fig. 18. DIAM Maturity level diagnosis.

Additionally, sensitivity analyses enable to indicate the most adequate criteria for improvement of the organizational disaster management capabilities. For analysis purposes, Fig. 19 shows how FR-Result 'Report Supply Points' can influence in changing the final maturity levels. This figure shows that increasing priority levels for this NF-Result leads to a preferred maturity level change towards Level 3 (Advanced). This analysis acts as an important tool in driving enterprise engineering efforts.

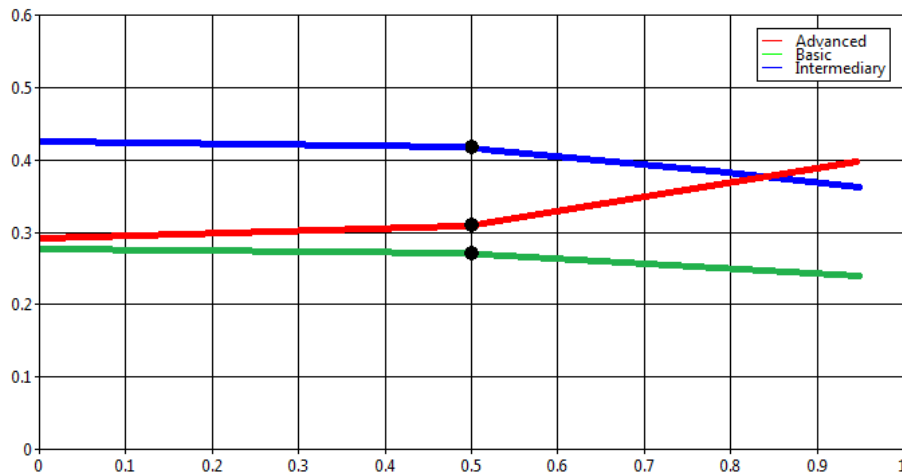


Fig. 19. Sensitivity analysis of 'Report Supply Points' FR-Result.

With the diagnosis phase completed, the architecture review stage can be started. Here the data entered is basically the attributes diagnosed as weak in the institution evaluated (FR-RW) - needing improvement, as well as the selection of experts on the attributes of Technical Solutions (TS) pertinent to the domain of the institution, the Filtered Technical Solutions (TS-F), both shown in the Fig. 20. This last one becomes relevant given that the framework considers that the company evaluated already has minimum requirements for action in the domain.

Technical Solutions Filtered (TS-F) ALTERNATIVES	Functional Requirements - Results Weak (FR-RW) CRITERIAS
attributes based query	(B2) Mobile networks
common datasets	(B2) Provide user reports
current technologies	(S2) Provide access reports
data distribution systems based on WEB	(S2) Provide user reports
digital maps	(P3) Tracking responsible for data
events timestamps	(B2) Exchange of information between teams
integrated data repository	(B3) Mobile networks
modular approach	(P3) Geographical based data
multiple data formats	(S2) Acceptable for governmental services
network power secured	(P2) GIS consultation based tools
secure shell	(P3) Structured query implementation
speicalists encrypted messages	(S2) Provide middleware services
standart data specification	
systemized repository data	
unified file format and conversion and UML	
uniform emergency signals	
wireless communication	

Fig. 20. Data Input PROMETHEE.

Finally, the method needs a matrix relating Alternatives and Criteria to be filled in, a task performed by specialists of the institution evaluated (Matrix in Fig. 13). For each of the relationships, experts fill in the level of influence obtained for the technology for the development of the attribute evaluated. The pattern adopted by the model could be represented in any way that allows converting the result into a numeral priority scale. Like the main result view, Fig. 21 gives a global view of the result obtained, showing the final classification ranking for the scenario evaluated (Phi). Based on the resulting values, the method provided a ranking with the technical solutions that would provide the greatest potential for the organization's development in terms of interoperability, with the three most relevant being: Timestamps (0.4067), Data Distribution (0.1899) and Unified file format and UML conversion (0.1895). In addition to the overall result, with support from the tool, charts can be visualized displaying different perspectives.

Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	Events timestamps		0,4062	0,5027	0,0965
2	Data distribution		0,1899	0,2588	0,0689
3	Unified file format and		0,1895	0,2590	0,0695
4	Wireless communication		0,1879	0,2675	0,0796
5	Current technologies		0,1526	0,2310	0,0785
6	Integrated data		0,1089	0,1713	0,0624
7	Digital maps		0,1033	0,1840	0,0807
8	Systemized repository		0,0885	0,2669	0,1785
9	Uniform emergency		-0,0198	0,1042	0,1239
10	Modular approach		-0,0828	0,0756	0,1584
11	Common datasets		-0,0832	0,0685	0,1517
12	Standart data		-0,1130	0,0836	0,1967
13	Speielists encrypted		-0,1257	0,0564	0,1820
14	Attributes based query		-0,1965	0,0677	0,2643
15	Secure shell		-0,2270	0,0356	0,2626
16	Multiple data formats		-0,2553	0,0120	0,2673
17	Network power secured		-0,3233	0,0011	0,3245

Fig. 21. Case study ranking.

These adjustments will also influence the final outcome of the method, allowing detailed analyzes and ranking the technical solutions. The application of the method allows these results to be visualized from different perspectives, one of which is shown in Fig. 22, displaying the profiles of each attribute in relation to the alternative "Digital Maps".



Fig. 22. Action Profile of "Digital Maps".

The analysis enables identifying the main filtered technical solutions (TS-F) of the architecture that best contribute to servicing the deficient attribute identified in the diagnosis (FR-RW). In this case, study of “Digital Maps” TS will contribute to increasing the capability of: Geographical based data, GIS consultation-based tools and Mobile networks. In this way it is possible to affirm that prioritizing the TS in case in point would be pertinent mainly in improving only three FR-RW.

The method also allows to perform a sensitivity analysis on the result obtained. This allows simulating the impact of changing an attribute's priority on the remainder of the scenario. This type of analysis allows to act with propriety in the improvements to be applied in the institution, enabling decision makers to choose characteristics that can define cost, time, difficulty and etc. Figs. 22 and 23 show a sensitivity adjustment in the attribute “Provide Middleware Services”. We notice that changes (even if small) in FR-RW capabilities can considerably change performance prioritization (TS-F). By comparing Figs. 22 and 23, by leveling the importance of Mobile Network and Provider Middleware Service, attribute prioritization is significantly changed. The small change in prioritization moves attribute TS-F (Events Timestamps) to the third position, receiving less priority than "Unified file format and conversion and UML" and "Data distribution systems based on WEB".

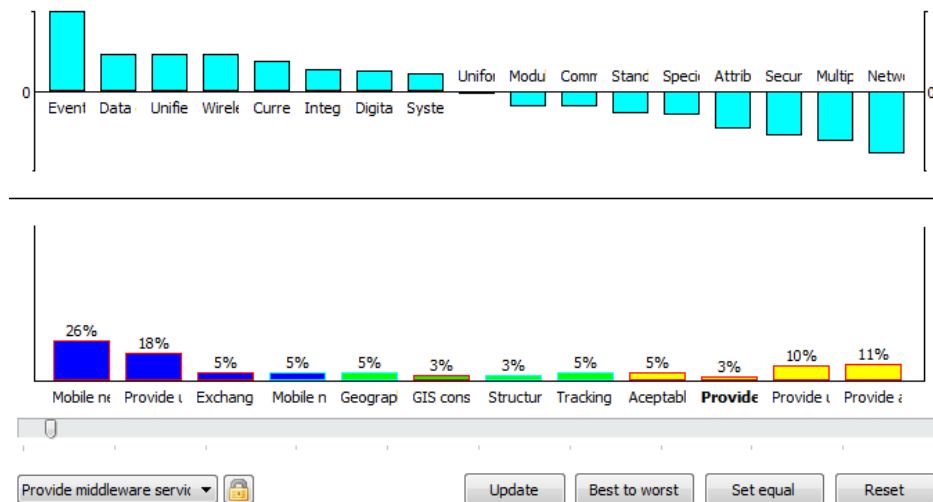


Fig. 23. Rolling Weightings of “Exchange of information between teams”.

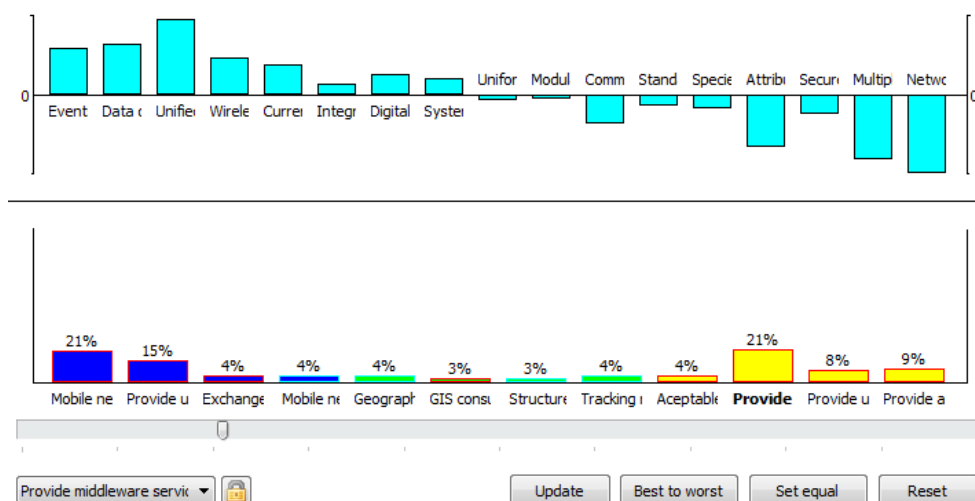


Fig. 24. Rolling Weightings of “Exchange of information between teams” after sensitivity adjustment.

The final results obtained through the prioritization generated by the PROMETHEE method will help to define the technical solutions (TS-P) prioritized for implementation by the institution in order to improve the attributes in which it has a lower maturity. Thus, the institution has all the necessary numbers to support the decisions that will contribute to the best possible performance in the scenario of disaster management.

5. Conclusion

This paper focused on identifying disaster management knowledge and an assessment cycle based on the AHP/ANP/Dematel/PROMETHEE based model called DIAM. The capability to act in the area of disaster management can be analyzed, as well as a review of the architecture created through the prioritization of the technical solution by applying the PROMETHEE method. An in-depth relational analysis was conducted in order to face the complex analysis of disaster management requirements dealing with interoperability barriers. A total of 127 requirements were split into functional, non-functional requirements and technical solutions by means of a two-step QFD design. A new relational method called IRM was conceived to support mapping of the main (filtered) DM requirements (total of 26) into interoperability perspectives based on Chen’s EIF. IRM acted as an important tool in designing the AHP structure of the DIAM, enabling a multi-layer diagnosis of the different organizational views – from the strategic level concerning business, conceptual and process interoperability perspectives down to a granular view of disaster management capabilities.

The same IRM also served as the basis for the application of the Dematel method, which allowed the degree of influence among the attributes to be mapped serving as subsidies for the deployment of the ANP method. The application of Dematel allowed the connection of different clusters from 3 attributes (Influence Relationship - IR). The result of the extension of the ANP method onto the AHP structure allows to improve the previously obtained diagnosis. The final structure of the framework is intended to take advantage of the results obtained in the diagnostic phase to improve the reference file. The process begins with the selection of the least attended attributes of the institution. In this case, 20% of them (12 attributes – FR-RW) were selected, for which calculations were made for the normalization and inversion of values (the weakest attribute having the highest

weighting in the architecture). The alternatives were the technical solutions identified at the beginning of the framework after experts selected the attributes pertinent to the company branch of activity (17 technical solutions – TS-F). These attributes (FR-RW and TS-F) are used in the last method of the DIAM proposal to prioritize the architecture of the institution evaluated, in which the result is defined as Prioritized Technical Solutions (TS-P).

An application case based on an important ICT company in southern Brazil, acting as a central entity in control of municipal information and communication technology, enabled relevant results and promising perspectives on the applicability of DIAM in DRMS improvements. Several unknown fragile capabilities are highlighted by the corroboration between DIAM and company experts and directors' perceptions in organizational performance in disaster management scenarios. Moreover, influence (sensitivity) analysis of the DM requirements identified on the company's overall maturity level, gave a preliminary support for a local agenda towards public and private efforts in overcoming municipal barriers.

It has been shown that disaster management should be linked directly to interoperability issues, allowing an integrated operation of all entities involved during an event. An interoperability assessment framework was then proposed in order to identify the potential interoperation in a disaster response management environment. The proposed DRMS development cycle framework was based on a set of reference architecture specifications (relating functional requirements to technical solutions), an interoperability diagnosis model (relating functional requirements to interoperability concerns) of a locality or private or public entity, in order to achieve an interoperable architecture. DRMS promotes review, evaluation and improvement in the reference architecture for the reality of the entity analyzed with respect to its interoperability capabilities in DM scenarios.

About future works, the research will continue towards improving the framework, verifying and validating the results found with other public/private entities (civil defense, firefighters, traffic engineering) involved in disaster response management initiatives. A SysML diagram modeling phase will also be considered with a view to supporting DMIS specifications with special emphasis on DM and interoperability requirement modeling as well as complex behavior analyses relative to disaster response dynamics. A broader picture of disaster management capabilities of Brazilian cities in disaster management situation can then be established.

References

- [1] Barthe-Delanoë, A.-M., Carbonnel, S., Bénaben, F., & Pingaud, H. (2012). Event-driven agility of crisis management collaborative processes. In ISCRAM 2012 Conference Proceedings - 9th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84905569046&partnerID=40&md5=34f1f26435465f324600118f5c466a2c>.
- [2] Othman, S. H., & Beydoun, G. (2016). A metamodel-based knowledge sharing system for disaster management. *Expert Systems with Applications*, 63, 49–65. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.06.018>.
- [3] Altay, N., & Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475–493. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.016>.
- [4] Truptil, S. & Bénaben, F. & Couget, P. & Luras, M. & Vincent, C. & Pingaud, H., Interoperability of Information Systems in Crisis Management: Crisis Modeling and Metamodeling (2008). *Enterprise Interoperability Iii: New Challenges Industrial Approaches* - Pages 583-594.
- [5] Rezaei, R., Chiew, T., & Lee, S. (2013). A review of interoperability assessment models. *Journal of Zhejiang University SCIENCE C*, 14(9), 663–681. <http://doi.org/10.1631/jzus.C1300013>.
- [6] Rezaei, R., Chiew, T. K., Lee, S. P., & Shams Aliee, Z. (2014). Interoperability evaluation models: A systematic review. *Computers in Industry*. <http://doi.org/10.1016/j.compind.2013.09.001>.
- [7] Chen, D., & Daclin, N. (2006). Framework for enterprise interoperability. *Proc. of IFAC Workshop EI2N*, (February), 77–88. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1002/9780470612200.ch6>.
- [8] Noran, O. (2013). Towards Improving Information Systems Interoperability in Disaster Management. In *Building Sustainable Information Systems* (pp. 351–363). http://doi.org/10.1007/978-1-4614-7540-8_27.

- [9] Zyoud, S. H., & Fuchs-Hanusch, D. (2017). A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques. *Expert Systems with Applications*. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.016>.
- [10] Mukhopadhyay, B. & Bhattacharjee, B., Use of Information Technology in Emergency and Disaster Management. *American Journal of Environmental Protection*. vol. 4, No. 2, 2015, pp. 101-104.
- [11] Meissner, A., Luckenbach, T., Risse, T., Kirste, T., & Kirchner, H. (2002). Design Challenges for an Integrated Disaster Management Communication and Information System. *The First IEEE Workshop on Disaster Recovery Networks (DIREN 2002)*, 24(Diren), 1–7.
- [12] Iannella, R., & Robinson, K. (2010). Towards a Framework for Crisis Information Management Systems (CIMS). *Information Systems for Emergency Management*, 327–343.
- [13] Kim, J. K., Sharman, R., Rao, H. R., & Upadhyaya, S. (2006). Framework for analyzing critical incident management systems (CIMS). *Proceedings of the 39th Hawaii International Conference on System Sciences - 2006*, 00(C), 1–8. Retrieved from <http://www.computer.org/portal/web/csd/doi/10.1109/HICSS.2006.188>.
- [14] Perry, R. W. (2003). Incident Management Systems in Disaster Management. *Disaster Prevention and Management*, 12(5), 405–412. <http://doi.org/10.1108/09653560310507226>.
- [15] Badiru, A. B., & Racz, L. (2013). *Handbook of Emergency Response: A Human Factors and Systems Engineering Approach*. ISBN 9781466514560, August 22, 2013 by CRC Press, pp.57-175.
- [16] Guedria, W. (2012). *A Contribution to Enterprise Interoperability Maturity Assessment*. 2012. 247 p. These: L'Universite Bordeaux 1. Talence, France, 2012.
- [17] Guedria, W., Golnam, A., Naudet, Y., Chen, D., & Wegmann, A. (2011). On the use of an interoperability framework in coepetition context. In *the 21st Nordic Workshop on Interorganizational Research*. Vaasa, Finland, 2011.
- [18] Frémont, G., Grazzini, S., Sasse, A., & Beeharee, A. (2010). The SafeTRIP project: improving road safety for passenger vehicles using 2-way satellite communications. In *ITS World Congress Busan, 2010*.
- [19] Preda, P. F. (2015). Kick-off meeting of the DECIDE project, 2010. Retrieved from <<http://predaplus.eu/kick-off-meeting-of-the-decide-project/>>. Accessed on January 10, 2015.
- [20] Evans, G., Blythe, P., Panou, M., & Bekiaris, E. (2014). Evaluating transport technologies for mitigating the impact of emergency events: findings from the SAVE ME Project. *Transport*, 2(3), 2014.
- [21] Brazilian Government, Executive Committee of the Electronic Government (2009). e-PING: Electronic Government Interoperability Standards – Version of December 11, 2009. Retrieved from <http://eping.governoeletronico.gov.br/>.
- [22] Yahia, E., Aubry, A., & Panetto, H. (2012). Formal measures for semantic interoperability assessment in cooperative enterprise information systems. *Computers in Industry*, 63(5), 443–457. <http://doi.org/10.1016/j.compind.2012.01.010>
- [23] European Commission (2010). *European Interoperability Framework (EIF) for European public services*. Brussels, Belgium, 2010.
- [24] Rezaei, R., Chiew, T. K., Lee, S. P., & Shams Aliee, Z. (2014). Interoperability evaluation models: A systematic review. *Computers in Industry*. <http://doi.org/10.1016/j.compind.2013.09.001>.
- [25] Guédria, W., Chen, D., & Naudet, Y. (2015). A Maturity Model for Enterprise Interoperability. *Enterprise Information Systems*, 9(1), 1–28. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-16961-8>.
- [26] Cestari, J. M. A. P., Loures, E. R., & Santos, E. A. P. (2013). Interoperability Assessment Approaches for Enterprise and Public Administration. In: Demey, Yan Tang; Panetto, Herve (Eds.). (Org.). *OTM Industry Case Studies*. 1ed.: SPRINGER Lecture Notes in Computer Science, 2013, v. 8186, p. 1-759.
- [27] Noran, O. (2011). Integrating environmental and information systems management: An enterprise architecture approach. In *Information Systems Development: Asian Experiences* (pp. 123–134). http://doi.org/10.1007/978-1-4419-7355-9_11.
- [28] De Brito, M. M., & Evers, M. (2016). Multi-criteria decision-making for flood risk management: A survey of the current state of the art. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(4), 1019–1033. <http://doi.org/10.5194/nhess-16-1019-2016>.
- [29] Yang, C. L., Yuan, B. J. C., & Huang, C. Y. (2015). Key determinant derivations for information technology disaster recovery site selection by the multi-criterion decision making method. *Sustainability (Switzerland)*, 7(5), 6149–6188. <http://doi.org/10.3390/su7056149>.
- [30] Zhao, H., Peng, Y., & Li, W. (2013). Revised PROMETHEE II for improving efficiency in emergency response. In *Procedia Computer Science* (Vol. 17, pp. 181–188). <http://doi.org/10.1016/j.procs.2013.05.025>.
- [31] Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>.
- [32] Saaty, R. W. (2013). *Decision Making in Complex Environments*. Retrieved from: <<http://www.croce.ggf.br/dados/Tutorial%20superdecisions.pdf>>. Accessed on may 12, 2017.
- [33] Sumrit, D., & Anuntavoranich, P. (2013). Using DEMATEL Method to Analyze the Causal Relations on Technological Innovation Capability Evaluation Factors in Thai Technology-Based Firms. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 4(2), 81–103.
- [34] Marques dos Santos, E., & Reinhard, N. (2009). The Challenges in Establishing a Government Interoperability Framework : The e-PING Brazilian. In *CONF-IRM 2009 Proceedings*. Paper 54.
- [35] Avanzi, D. da S., Foggiatto, A., dos Santos, V. A., Deschamps, F., & de Freitas Rocha Loures, E. (2017). A framework for interoperability assessment in crisis management. *Journal of Industrial Information Integration*, 5, 26–38. <http://doi.org/10.1016/j.jii.2017.02.004>.

- [36] Wu, C. I., Kung, H. Y., Chen, C. H., & Kuo, L. C. (2014). An intelligent slope disaster prediction and monitoring system based on WSN and ANP. *Expert Systems with Applications*, 41(10), 4554–4562. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.12.049>.
- [37] Marchesi, M., Sang-Gook, K., & Matt, D. T. (2013). Application of the Axiomatic Design Approach to the Design of Architectural Systems: a Literature Review. *The Seventh International Conference on Axiomatic Design*. Worcester – June 27-28, 2013.
- [38] Cestari, J. M. A. P. (2015). A Contribution to Interoperability Capability Diagnosis in Public Administration Domain. Curitiba, 2015. 364p. Thesis - Pontifical Catholic University of Parana. Curitiba, Curitiba, December 10, 2015.
- [39] NIST, Integration Definition for Functional Modeling (IDEF0) (1993). FIPS Publication 183, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1993. <<http://www.idef.com/idefo>>.
- [40] Falatoonitoosi, E., Ahmed, S., & Sorooshian, S. (2014). Expanded DEMATEL for determining cause and effect group in bidirectional relations. *The Scientific World Journal*, 2014. <http://doi.org/10.1155/2014/103846>.

APÊNDICE D – ATRIBUTOS

1 – Classificação como Requisitos Funcionais, Não Funcionais ou Solução Técnica

Knowledge	FR	NFR	TS
access levels	x		
acceptable for governmental services	x		
adaptable financial realities		x	
Agile		x	
attributes based query			x
auto operation		x	
automatic background searching		x	
automatic decision making	x		
broadcast messages			x
Capacity		x	
Clustered			x
common datasets			x
Compatibility		x	
continuously monitored	x		
corporate technologies	x		
crisis classification process	x		
current technologies			x
custom applications	x		
customized user interface	x		
data access ancients	x		
data distribution systems based on WEB			x
data sharing	x		
depiction (physical representation in a digital format of the environment)			x
digital maps			x
distributed computing			x
dynamically data update	x		
easy configuration	x		
easy to include new modules	x		
easy to use		x	
event importance level	x		

events timestamps			x
exchange of information between teams	x		
experts provide instant feedback when contacted	x		
facilities in sending messages		x	
false phone calls	x		
fast training		x	
Flexibility		x	
geographic information system		x	
geographical based data	x		
GIS consultation based tools	x		
graphic reports	x		
hardware low cost		x	
heterogeneous specification			x
Identify parties automatically		x	
incident reports	x		
information location identification	x		
integrated data repository			x
interoperable with other architectures		x	
intrusion devices	x		
knowledge sharing		x	
known ontology between modules			x
known taxonomy between modules	x		
levels of importance of data	x		
life cycle plan			x
low cost of integration		x	
low cost software		x	
low database storage cost		x	
low implementation cost		x	
low maintenance cost		x	
low training cost		x	
mobile devices enabled	x		
mobile networks	x		
modular approach			x
Multilingual	x		
Multiplatform	x		

multiple data formats			x
multiple users		x	
network performance evaluation		x	
network power secured			x
not complex systems			x
notify groups and times dynamically	x		
occurrences reports	x		
open sources			x
open SQL data language			x
organization performance metrics		x	
oriented system applications			x
otimization communication channels			x
outside consulting	x		
owner of data reports	x		
prediction of hazard	x		
priority information	x		
prototypes implementation		x	
provide user reports	x		
provide access reports	x		
provide feedback expert	x		
provide middleware services	x		
provide quick reports		x	
quick access		x	
quick communication		x	
quick response time		x	
quickly identifying a situation	x		
rapid identification of experts and supervisors		x	
reduce the number of vehicles	x		
relational data model			x
Reliability		x	
report alternate routes	x		
report alternative transport	x		
report checkpoints	x		
report supply points	x		
report templates			x

robust system		x	
run on different types of crisis	x		
secure shell			x
send personalized messages	x		
sharing data		x	
single set of rules	x		
special queries		x	
specialists encrypted messages			x
standart data specification			x
structured query implementation	x		
SYSML			x
system constraints maps			x
system performance metrics		x	
system requirements definitions		x	
systemized repository data			x
tracking responsible for data	x		
traffic control information		x	
unified file format and conversion and UML			x
uniform emergency signals			x
unregistered users receive only broadcasts	x		
usage tips	x		
use case based modeling			x
user hierarchy			x
user performance metrics		x	
user support	x		
warnings for hazardous areas	x		
wireless communication			x

2 – Solução Técnica para o Instituto das Cidades Inteligentes

Knowledge	TS	ICI TS
attributes based query	x	x
broadcast messages	x	
clustered	x	
common datasets	x	x
current technologies	x	x
data distribution systems based on WEB	x	x
depiction (physical representation in a digital format of the environment)	x	
digital maps	x	x
distributed computing	x	
events timestamps	x	x
heterogeneous specification	x	
integrated data repository	x	x
known ontology between modules	x	
life cycle plan	x	
modular approach	x	x
multiple data formats	x	x
network power secured	x	x
not complex systems	x	
open sources	x	
open SQL data language	x	
oriented system applications	x	
otimization communication channels	x	
relational data model	x	
report templates	x	
secure shell	x	x
specielists encrypted messages	x	x
standart data specification	x	x
SYSML	x	
system constraints maps	x	
systemized repository data	x	x
unified file format and conversion and UML	x	x
uniform emergency signals	x	x
use case based modeling	x	

user hierarchy	x	
wireless communication	x	x

3 – Classificação Dematel

ORDEM ATRIBUTOS MAIS ATIVOS NO SISTEMA			
ATRIBUTOS	INFLUÊNCIA FORNECIDA	INFLUÊNCIA RECEBIDA	INFLUÊNCIA RESULTANTE
Dynamically data update	0,120736061	0,04835473	0,072381331
Exchange of information between ...	0,105481257	0,046755933	0,058725324
Single set of rules	0,053185272	0,024414745	0,028770526
Levels of importance of data	0,060158319	0,032141361	0,028016957
Quickly identifying a situation	0,080538111	0,058855009	0,021683103
Tracking responsible for data	0,053938334	0,046276722	0,007661612
GIS consultation based tools	0,065622291	0,061768714	0,003853577
Geographical based data	0,065694121	0,06393943	0,001754691
Provide middleware services	0,040283608	0,038985133	0,001298475
Report supply points	0,019836721	0,019435227	0,000401494
Easy to include new modules	0,027561218	0,030455602	-0,002894384
Experts provide instant feedback ...	0,064752675	0,069179743	-0,004427068
Corporate technologies	0,054370754	0,05943487	-0,005064116
User support	0,018425923	0,024357896	-0,005931972
Unregistered users receive only ...	0,02122694	0,028229189	-0,00700225
Mobile networks	0,042119132	0,050732726	-0,008613594
Provide user reports	0,025834678	0,036775996	-0,010941318
Customized user interface	0,025170804	0,037715606	-0,012544802
Structured query implementation	0,01150275	0,024056544	-0,012553794
Owner of data reports	0,028293204	0,042809843	-0,014516639
Provide access reports	0,018740598	0,043291677	-0,024551079
Reduce the number of vehicles	0,018626088	0,045640489	-0,027014401
Aceptable for governmental services	0,031873971	0,064748394	-0,032874423
Run on different types of crisis	0,048762953	0,104380202	-0,05561725

ORDEM ATRIBUTOS MAIS INFLUENTES NO SISTEMA			
ATRIBUTOS	INFLUÊNCIA FORNECIDA	INFLUÊNCIA RECEBIDA	INFLUÊNCIA RESULTANTE
Dynamically data update	0,120736061	0,04835473	0,072381331
Exchange of information between ...	0,105481257	0,046755933	0,058725324

Quickly identifying a situation	0,080538111	0,058855009	0,021683103
Geographical based data	0,065694121	0,06393943	0,001754691
GIS consultation based tools	0,065622291	0,061768714	0,003853577
Experts provide instant feedback ...	0,064752675	0,069179743	-0,004427068
Levels of importance of data	0,060158319	0,032141361	0,028016957
Corporate technologies	0,054370754	0,05943487	-0,005064116
Tracking responsible for data	0,053938334	0,046276722	0,007661612
Single set of rules	0,053185272	0,024414745	0,028770526
Run on different types of crisis	0,048762953	0,104380202	-0,05561725
Mobile networks	0,042119132	0,050732726	-0,008613594
Provide middleware services	0,040283608	0,038985133	0,001298475
Aceptable for governmental services	0,031873971	0,064748394	-0,032874423
Owner of data reports	0,028293204	0,042809843	-0,014516639
Easy to include new modules	0,027561218	0,030455602	-0,002894384
Provide user reports	0,025834678	0,036775996	-0,010941318
Customized user interface	0,025170804	0,037715606	-0,012544802
Unregistered users receive only ...	0,02122694	0,028229189	-0,00700225
Report supply points	0,019836721	0,019435227	0,000401494
Provide access reports	0,018740598	0,043291677	-0,024551079
Reduce the number of vehicles	0,018626088	0,045640489	-0,027014401
User support	0,018425923	0,024357896	-0,005931972
Structured query implementation	0,01150275	0,024056544	-0,012553794

ORDEM ATRIBUTOS MAIS INFLUENCIADOS PELO SISTEMA			
ATRIBUTOS	INFLUÊNCIA FORNECIDA	INFLUÊNCIA RECEBIDA	INFLUÊNCIA RESULTANTE
Run on different types of crisis	0,048762953	0,104380202	-0,05561725
Experts provide instant feedback ...	0,064752675	0,069179743	-0,004427068
Aceptable for governmental services	0,031873971	0,064748394	-0,032874423
Geographical based data	0,065694121	0,06393943	0,001754691
GIS consultation based tools	0,065622291	0,061768714	0,003853577
Corporate technologies	0,054370754	0,05943487	-0,005064116
Quickly identifying a situation	0,080538111	0,058855009	0,021683103
Mobile networks	0,042119132	0,050732726	-0,008613594
Dynamically data update	0,120736061	0,04835473	0,072381331

Exchange of information between ...	0,105481257	0,046755933	0,058725324
Tracking responsible for data	0,053938334	0,046276722	0,007661612
Reduce the number of vehicles	0,018626088	0,045640489	-0,027014401
Provide access reports	0,018740598	0,043291677	-0,024551079
Owner of data reports	0,028293204	0,042809843	-0,014516639
Provide middleware services	0,040283608	0,038985133	0,001298475
Customized user interface	0,025170804	0,037715606	-0,012544802
Provide user reports	0,025834678	0,036775996	-0,010941318
Levels of importance of data	0,060158319	0,032141361	0,028016957
Easy to include new modules	0,027561218	0,030455602	-0,002894384
Unregistered users receive only ...	0,02122694	0,028229189	-0,00700225
Single set of rules	0,053185272	0,024414745	0,028770526
User support	0,018425923	0,024357896	-0,005931972
Structured query implementation	0,01150275	0,024056544	-0,012553794
Report supply points	0,019836721	0,019435227	0,000401494

ANEXO A – PIBIC

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica
PIBIC

RELATÓRIO FINAL

**INVESTIGAÇÃO DE MÉTODOS MCDA PARA AVALIAÇÃO
DE INTEROPERABILIDADE NA GESTÃO DE RESPOSTA A
DESASTRES**

EDUARDO DE FREITAS ROCHA LOURES

CURITIBA

JULHO DE 2017

VANESSA ALINE DOS SANTOS

EDUARDO DE FREITAS ROCHA LOURES

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ESCOLA POLITÉCNICA

BOLSA PIBIC– CNPq

**INVESTIGAÇÃO DE MÉTODOS MCDA PARA AVALIAÇÃO
DE INTEROPERABILIDADE NA GESTÃO DE RESPOSTA A
DESASTRES**

Relatório Final apresentado ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, e órgãos de fomento, sob orientação do **Prof. Eduardo de Freitas Rocha Loures**.

CURITIBA

JULHO DE 2017

SUMÁRIO

RESUMO	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE QUADROS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE ANEXOS.....	vii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivos Específicos	2
3 MATERIAIS E MÉTODO	3
3.1 Frameworks de Interoperabilidade em Gestão de Resposta a Desastres (GRD).....	3
3.2 Levantamento de Dados e Atributos	6
3.3 Métodos Muticritérios de Tomada de Decisão (MCDM)	6
3.3.1Método <i>AHP</i>	7
3.3.2Método <i>DEMATEL</i>	8
3.3.3Método <i>ANP</i>	10
3.3.4Método <i>PROMETHEE</i>	11
4 RESULTADOS	13
4.1 Resultado Método <i>AHP/ANP</i>	13
4.2 Resultado Método <i>DEMATEL</i>	14
4.3 Resultado Método <i>PROMETHEE</i>	15
4.4 Comparações entre métodos, resultados e modelo EIA	16
5 DISCUSSÃO	17
6 CONCLUSÃO	18
REFERÊNCIAS.....	19
ANEXOS	20

RESUMO

O aumento do número de registros por ocorrências e fatalidades devido a desastres naturais presenciados no mundo todo tem exigido das organizações ações integradas que sejam capazes de prevenir ou reverter as mais inesperadas situações de emergência. Na busca pela maior integração entre os envolvidos e um compartilhamento rápido e eficiente de informações, o atendimento aos requisitos de interoperabilidade torna-se fator chave, na medida em que oferece suporte e garante o melhor desempenho nas ações tomadas diante das situações adversas. É diante deste cenário, e frente aos rigorosos requisitos e indicadores de desempenho associados, que o presente projeto encontra sua motivação, tendo como objetivo a investigação de métodos multicritérios (MCDM) – AHP/ANP, DEMATEL e PROMETHEE – na elaboração de um modelo de avaliação de interoperabilidade organizacional (AIO), tendo por escopo de aplicação o ICI (Instituto das Cidades Inteligentes), uma entidade do referido domínio. Com base em esquema metodológico específico, a fase inicial de estudo contemplou a etapa de revisão bibliográfica, onde foram investigadas definições, conceitos e frameworks relacionados à interoperabilidade e ao contexto de GRD. A fase seguinte destinou-se ao levantamento de atributos a partir da literatura, especialistas e principais iniciativas mundiais no domínio estudado. Por fim, a última etapa final foi dedicada à investigação, elaboração e aplicação dos métodos AHP, DEMATEL, ANP e PROMETHEE, seguida de suas comparações e conclusões. Os resultados finais obtidos a partir da aplicação dos métodos se mostraram coerentes e complementares entre si, demonstrando que o ICI se encontra em um nível de maturidade de interoperabilidade intermediário, sendo algumas de suas fragilidades relacionadas às ‘redes móveis’ direcionando a priorização de tecnologias para esta dimensão. Tal diagnóstico demonstra não só a eficácia dos métodos, mas também sua potencial aplicação conjunta na composição de um modelo AIO que contempla a avaliação de interoperabilidade na esfera de segurança pública e a priorização de ações para melhorá-la.

Palavras-Chave: Avaliação de Interoperabilidade, Gestão de Resposta à Desastres, AHP/ANP, DEMATEL, PROMETHEE.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estratégia de pesquisa desenvolvida no PIBIC	04
Figura 2. Esquema procedural de aplicação do método DEMATEL.....	08
Figura 3. Relações adicionais ANP.....	10
Figura 4. Modelagem do Método PROMETHEE no software Visual PROMETHEE.....	11
Figura 5. Gráfico ilustrativo do Resultado Final AHP e Análise de sensibilidade para o atributo 'Report Supply Points'	13
Figura 6. Resultados da aplicação do método AHP/ANP.....	14
Figura 7. Resultado método PROMETHEE (software Visual PROMETHEE)	15
Figura 8. Resultados e análise de sensibilidade método PROMETHEE – Software Visual PROMETHEE.....	15

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Perspectivas de Interoperabilidade.....	05
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados – Método DEMATEL.....	14
---	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa Geográfico comparativo por atributo de GRD. Resultado gráfico do método DEMATEL.....	20
---	----

1. INTRODUÇÃO

O aumento do número de registros por ocorrências e fatalidades devido a desastres naturais presenciados no mundo todo tem exigido das autoridades (entidades públicas, prestadores de serviços, cidadãos, voluntários e sistemas) ações integradas que sejam capazes de prevenir ou reverter as mais inesperadas situações de emergência. Na busca pela maior integração entre os envolvidos e um compartilhamento rápido e eficiente de informações, o atendimento aos requisitos de interoperabilidade torna-se fator chave, na medida em que oferece suporte e garante o melhor desempenho nas ações tomadas diante das situações adversas.

Neste sentido, a Gestão de Crises surge com um importante papel, na tentativa de promover a coordenação dos processos e integração entre entidades em um ciclo de ação envolvendo quatro fases principais: mitigação, preparação, resposta e recuperação (ATLAY e GREEN, 2006). Se tratando de interoperabilidade, a dimensão resposta é considerada a de maior relevância, sendo crítica no apoio aos indivíduos afetados. De acordo com Barthe-Delanoë et al. (2012), a eficiência na gestão de crises pode ser mensurada pela rapidez e precisão com que as informações são geridas e compartilhadas entre as entidades envolvidas (pessoas, organizações ou sistemas).

Diante deste cenário, frente aos rigorosos requisitos e indicadores de desempenho associados, o presente projeto encontra sua motivação, reconhecendo a importância da avaliação de interoperabilidade organizacional (AIO), do inglês *Enterprise Interoperability Assessment* (EIA), no diagnóstico das capacidades de entidades públicas e privadas em meio à gestão de crise. Foram elaborados modelos de avaliação a partir de três métodos multicritérios (MCDM) – AHP/ANP, DEMATEL e Promete –, tendo aplicação em uma entidade do referido domínio.

O projeto do professor envolveu igualmente uma equipe de professores, alunos de mestrado e funcionários da instituição avaliada (ICI - Instituto das Cidades Inteligentes) com a qual o PPGEPS possui projeto de cooperação. Os conhecimentos adquiridos em meu PIBIC anterior na área de saúde facilitaram seu desenvolvimento e os amplos resultados obtidos permitiram, juntamente com aluno de mestrado, a publicação conjunta de um artigo estendido de congresso internacional para o Journal of Industrial Information Integration – JIII, Elsevier (AVANZI et al., 2017), do qual tive o privilégio de participar como coautora auxiliando em diferentes experimentações e análise de resultados.

2. OBJETIVOS

O presente projeto tem como objetivo fundamental a avaliação de métodos MCDA (AHP, DEMATEL, ANP e PROMETHEE) para construção de um modelo de avaliação de interoperabilidade (EIA) de uma entidade envolvida na gestão de resposta a desastre.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o alcance do objetivo fundamental, definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- OE1: Investigação das principais perspectivas e modelos de avaliação de interoperabilidade - EIA (espaço solução).
- OE2: Identificação dos atributos que qualificam o domínio de gestão de resposta a desastre (espaço problema).
- OE4: Concepção de modelo EIA, com base nos métodos MCDA analisados.
- OE5: Aplicação do modelo EIA no escopo dos projetos institucionais em andamento (*).
- OE6: Análise de resultados e diagnóstico de interoperabilidade.

(*): Projeto de um SGRD (Sistema de Gerenciamento de Resposta a Desastres) no âmbito de projeto de cooperação do PGPES/PUCPR com o ICI (Instituto Curitiba de Informática). O referido projeto PIBIC refere-se a etapa diagnóstica dentro de um ciclo de desenvolvimento de um SGRD.

3. MATERIAIS E MÉTODO

Com o intuito de proporcionar uma melhor compreensão acerca do desenvolvimento da estratégia de pesquisa, o presente relatório será subdividido em 6 etapas principais, estando estas estruturadas identificadas em um modelo IDEF0 (MARCA E MCGOWAN 1988) ilustrado na Figura. 1. O diagrama facilita a compreensão das etapas e usa o princípio da decomposição de processos complexos a fim de quebrá-los em atividades menores (caixas), entradas (setas à direita); saídas (setas à esquerda); restrições ou controles sobre as atividades (setas superiores); e mecanismos utilizados para execução da atividade, (setas inferiores). As etapas que constam no modelo correspondem à: revisão bibliográfica (A0-A1); levantamento e classificação de atributos a partir do espaço problema (A2-A4); investigação, elaboração e aplicação do método AHP (A5-A7), DEMATEL (A8-A10), ANP (A11-A12) e PROMETHEE (A13-A15), e, por fim, comparação entre métodos e conclusões (A16).

As atividades correspondentes às três primeiras etapas foram concluídas na primeira fase do projeto e sintetizadas no relatório parcial de pesquisa juntamente aos resultados obtidos e análises de sensibilidade. A segunda fase do projeto foi dedicada à investigação, modelagem e avaliação dos demais métodos citados (DEMATEL, ANP e PROMETHEE), bem como comparação entre estes e conclusões. Neste processo, vale ressaltar a incorporação do método DEMATEL ao escopo de pesquisa ocupando o lugar do método ELECTRE-TRI, como melhor alternativa para explorar e testar uma nova e potencial metodologia de avaliação multicritério. Nas sessões seguintes serão descritas cada uma das etapas mencionadas, juntamente aos dados coletados, modelos e estruturas formuladas, ferramentas de apoio utilizadas, dentre outros elementos pertinentes ao desenvolvimento do presente projeto. Pela abrangência de materiais e por restrições de espaço parte dos elementos produzidos durante o projeto se encontram disponibilizados em acesso remoto (pasta pessoal pesquisa Dropbox).

3.1. IF'S EM GESTÃO DE RESPOSTA A DESASTRES (GRD)

Esta etapa, compreendo as atividades A0 e A1 do diagrama IDEF0, foi dedicada à investigação bibliográfica dos temas interoperabilidade e domínio de Gestão de Resposta a desastres (GRD), assim como a definição do IF (Interoperability Framework) e modelo de avaliação mais adequados ao escopo de pesquisa definido.

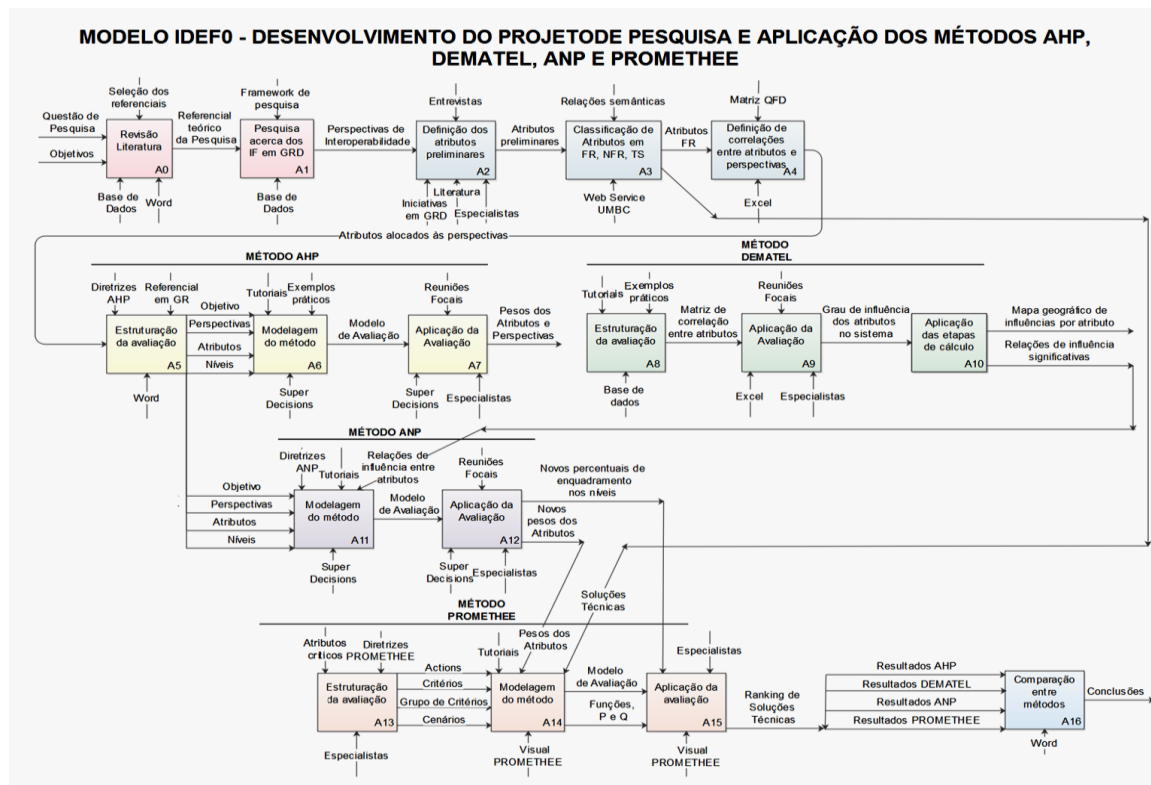


Figura 1 - Estratégia de pesquisa desenvolvida no PIBIC (do autor)

A interoperabilidade, segundo a visão de CHEN (2008, P. 1), é um conceito amplo que pode apresentar definições e conotações por vezes diferentes dependendo do domínio ou setor ao qual é aplicada. Em sentido amplo, o termo pode ser definido como a “capacidade de dois ou mais sistemas ou componentes em trocar informações e usar as informações que foram trocadas” (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE, 1990). Ser interoperável, portanto,

significa alcançar uma completa integração e um eficiente compartilhamento de informações entre as entidades envolvidas, trabalhando em conjunto na busca de objetivos comuns e mutuamente benéficos. Em seu estudo, Chen (2008, p. 2) afirma que muitas organizações não são interoperáveis pelo fato de encontrar barreiras advindas de diferentes naturezas e níveis corporativos que as impedem de estabelecer uma perfeita sincronia em suas relações. Identificar tais barreiras e avaliar a capacidade de interoperar com outras entidades, segundo Cestari (2015, p.7), permite à entidade “conhecer seus pontos fortes, pontos fracos e priorizar ações para melhorar seu desempenho e maturidade”.

Segundo Cesmeci et al. (2013), uma crise constitui uma situação inesperada, instável ou perigosa, capaz de afetar toda ou parte da sociedade, podendo surgir em diferentes esferas – política, militar, econômica, social, tecnológica ou de saúde – e ser causada por fatores naturais ou ações humanas. Neste complexo contexto, onde o tempo é escasso e diversas informações são compartilhadas entre os envolvidos – defesa civil, militares, policiais, equipes de resgate, bombeiros, etc. –, o cumprimento de requisitos de interoperabilidade torna-se chave para preservar vidas e assegurar o sucesso da operação. Com este pressuposto, governos de diversas partes do mundo estão movendo ações no sentido de implementar iniciativas de GRD que possam prevenir os mais variados tipos de desastres, elevar seu nível de interoperabilidade e garantir a estabilidade e segurança da população. A lista com as principais iniciativas de GRD investigadas, sua descrição e características constam na pasta do projeto**.

Existem alguns frameworks disponíveis na literatura que auxiliam a elaboração de um esquema de avaliação de interoperabilidade no contexto tratado. Para o presente projeto de pesquisa foi adotado o DRMS (Response Management

**<https://www.dropbox.com/s/a51bmryhoh1s547/ANEXO_%20Iniciativas%20mundiais%20no%20contexto%20de%20GRD.pdf?dl=0>

System)^{††} Framework, proposto pelos mestrandos Daniel S. Avanzi e Anderson Foggatto, que contempla três fases em um ciclo de desenvolvimento, no qual tive participação no levantamento de atributos e na construção do Modelo de Avaliação de Interoperabilidade (DIAM - Disaster Interoperability Assessment Model), tendo como base os métodos de suporte investigados no presente projeto.

Após análise dos frameworks, o modelo de avaliação proposto utilizou como base os estudos de Chen (2008), que estabelece 4 perspectivas e 3 barreiras acerca da interoperabilidade, as quais se encontram descritas no Quadro 1.

PERSPECTIVAS DE INTEROPERABILIDADE EM GRD	
Business (B)	Refere-se a trabalhar de forma harmonizada a nível de organização apesar das diferentes características, podendo desenvolvê-las e compartilhá-las com outras empresas
Process (P)	Destina-se a fazer vários processos trabalharem juntos, seja através de interações (em série ou em paralelo) ou, no caso de empresas em rede, criação de processos comuns.
Service (S)	Preocupa-se com o funcionamento conjunto de serviços/aplicações, resolvendo as diferenças sintáticas e semânticas e interligando as bases de dados heterogêneas.
Data (D)	Estabelecer ligação entre diferentes modelos de dados e linguagens de consulta, para encontrar e compartilhar informações provenientes de bases heterogêneas.
BARREIRAS DE INTEROPERABILIDADE EM GRD	
1. Conceptual	Relacionada à sintática e semântica, representa as diferenças entre as informações trocadas.
2. Technological	Relativa à incompatibilidade das tecnologias da informação, diz respeito às normas para processo de troca de dados e informações através do uso de sistemas de software.
3. Organizational	Relacionada com a definição de responsabilidade e autoridade, pode ser vista como as 'tecnologias humanas' ou 'fatores humanos' que gerem obstáculos à interoperabilidade

Quadro 1 - Perspectivas de Interoperabilidade (adaptado de CHEN et al., 2008)

3.2. LEVANTAMENTO DE DADOS E ATRIBUTOS

A fase seguinte, correspondente às atividades A2, A3 e A4, foi destinada ao levantamento dos atributos de avaliação de interoperabilidade no contexto tratado como base para a posterior aplicação dos métodos multicritérios.

^{††}<https://www.dropbox.com/s/tz16ggo7u00t1ra/ANEXO_%20DRMS_Framework.pdf?dl=0>

Como citado, a avaliação de interoperabilidade deve considerar as características do contexto de aplicação. Neste sentido, três fontes iniciais foram utilizadas para a obtenção dos atributos de avaliação: (1) Literatura, identificando-se padrões e definições através de buscas por palavra-chave em base de dados, sendo a principal referência o “Handbook of Emergency Response” (BADIRU e RACZ, 2013) na qual fiz um estudo mais amplo; (2) iniciativas mundiais de GRD, de onde se obteve as melhores práticas e requisitos técnicos de suporte à GRD; e (3) por meio da participação de especialistas da área, que, a partir de sucessivas reuniões e discussões (Técnica Delphi), auxiliaram no levantamento de alguns atributos do domínio. De posse dos atributos gerais levantados e a partir de sucessivas reuniões e discussões (Técnica Delphi) com mestrandos e especialistas da área, os atributos passaram por uma filtragem a fim de contemplar as três faces do framework de avaliação: Requisitos Funcionais (FR), Requisitos Não funcionais (NFR) e Soluções Técnicas (ST). A lista geral de atributos iniciais e sua classificação pode ser consultada na pasta pessoal do projeto^{††}. Por contemplar apenas o aspecto da interoperabilidade, para o modelo de avaliação foram utilizados apenas os 26 atributos classificados em FR-Resultantes (visualizados em arquivo dropbox^{§§} e diretamente na estrutura AHP/ANP, encontrada no Anexo 1).

3.3. MÉTODOS MUTICRITÉRIOS DE TOMADA DE DECISÃO (MCDM)

A partir da definição dos atributos finais de avaliação, deu-se início à investigação dos chamados Métodos Multicritérios de Análise de Decisão – Multi-Criteria Decision Making, MCDM –, os quais auxiliam decisores na solução de problemáticas complexas envolvendo múltiplos critérios de avaliação. No presente projeto propõe-se a utilização de tais métodos na tentativa de superar a dificuldade

^{††}<https://www.dropbox.com/s/p3kd002fbpdfhl0/ANEXO_%20Atributos_iniciais_e_classifica%C3%A7%C3%A3o_RF_RNF_ST_Dom%C3%ADnio_GRD.pdf?dl=0>

^{§§}<https://www.dropbox.com/s/yby88qvwvj92jyb/ANEXO_%20Atributos_finais_de_Avalia%C3%A7%C3%A3o_Dom%C3%ADnio_GRD.pdf?dl=0>

de muitas organizações em mensurar quantitativamente e seu nível de capacidade/maturidade no que se refere aos requisitos de interoperabilidade de seu domínio. Nesta direção, serão abordados os métodos AHP, DEMATEL, ANP e PROMETHEE, juntamente ao seu processo de modelagem e elaboração da estrutura de avaliação. Considerando o escopo da pesquisa, será dada ênfase na análise e uso instrumental do método através das ferramentas associadas

3.3.1. MÉTODO AHP

O método multicritério AHP fundamenta-se na teoria desenvolvida por Thomas Saaty, que visa mensurar fatores intangíveis através de comparações entre pares de critérios. O método consiste em estruturar os problemas em uma hierarquia onde o nível mais alto é representado pelo objetivo do modelo, seguido dos grupos de critérios, subcritérios e alternativas. Com o problema estruturado, inicialmente os critérios e subcritérios são comparados par a par, em uma escala de 1 a 9 (escala Saaty), em relação ao elemento imediatamente superior. Os valores obtidos são então traduzidos em matrizes e, após alguns cálculos matemáticos, são fornecidos os “pesos” relativos de cada atributo considerado. Ao final, as alternativas são comparadas entre si em relação a cada subcritério, sendo fornecido como resultado um ranking contendo aquelas que melhor atenderam aos critérios estabelecidos de acordo com o percentual de enquadramento obtido. No presente PIBIC, a aplicação prática do método deu-se através do Super Decisions (SAATY, 2003).

Como o método AHP constitui-se a partir de uma estrutura hierárquica, foi preciso organizar os elementos de forma a contemplar tal formato no domínio em questão (atividade A5 do IDEF0). Desta forma o objetivo da avaliação ocupou o grau mais alto da hierarquia, seguido das quatro perspectivas de interoperabilidade, e abaixo de cada uma delas foram enquadradas as três barreiras mencionadas. A definição dos atributos que seriam enquadrados no próximo nível foi possível com a utilização de duas “matrizes QFD”, do inglês *Quality Function Deployment*, para

análise relacional, correlacionando-se os Atributos vs Perspectivas de Interoperabilidade e, em seguida, Atributos vs Barreiras, segundo o grau de importância do atributo no item em questão (escala 1,2 e 4) e o peso do atributo para o domínio. Tal avaliação contou com o auxílio dos mestrandos e de um WebService disponibilizado pela UMBC, o qual avalia as relações entre os termos e retorna o grau de relação semântico entre pares de atributos. A matriz QFD contendo as pontuações finais já unificadas pode ser acessada diretamente no repositório pessoal do projeto^{***}, sendo os atributos com maior correlação selecionados para compor o penúltimo nível da estrutura, o que resultou na eliminação de dois deles que não obtiveram influência considerável. No nível final, representando as alternativas de avaliação, definiu-se uma escala com três níveis: Básico, Intermediário e Avançado, indicando o grau de capacidade/maturidade da instituição quanto à capacidade de atendimento dos requisitos de interoperabilidade na esfera de Gestão de Resposta a Desastres.

Com os elementos já organizados, iniciou-se a modelagem da estrutura de avaliação no software Super Decisions, com a adição dos respectivos clusters e nodos que adicionarão as abas de comparação. A estrutura obtida encontra-se no repositório pessoal do projeto^{†††} com 4 cores representando as perspectivas de interoperabilidade.

3.3.2. MÉTODO DEMATEL

O DEMATEL, do inglês *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*, constitui um método desenvolvido entre 1972 e 1979, que visa solucionar problemas complexos envolvendo relações de influências entre múltiplos fatores. O método é amplamente aceito “como uma das melhores ferramentas para resolver a relação de causa e efeito entre critérios de avaliação” (SUMRIT, 2013, p. 85), demonstrando

^{***}<https://www.dropbox.com/s/03hiueyhccchaos/ANEXO_%20Matriz_QFD_final.pdf?dl=0>

^{†††}<https://www.dropbox.com/s/mtiix3rebfsku73/ANEXO_%20Estrutura_final_AHP_Super_Decisions.pdf?dl=0>

graficamente as relações entre fatores, suas intensidades e o grau de influência fornecida, recebida e resultante no sistema. O método utiliza em sua lógica a teoria dos “grafos”, que pressupõe que uma melhoria em um fator causa poderá impactar significativamente na melhoria dos fatores-efeitos (FALATOONITOOSI, 2014).

Sumrit (2013, p. 85) apresenta em seus estudos um esquema procedural de aplicação do método, o qual foi adaptado pelo mestrando Pedro Gomes e sintetizados em 6 etapas, demonstradas na Figura 2.



Figura 2 – Esquema procedural de aplicação do método DEMATEL. Fonte: Adaptado de Sumrit (2013).

Na primeira etapa, utilizando uma escala de influência de 0 a 4, onde o 0 representa “sem influencia” e o 4 “muito alta influência”, especialistas do domínio realizam a ponderação das relações de influência entre pares de atributos dispostos em uma matriz quadrada (as linhas representam os fatores influentes e as colunas os fatores influenciados). Após, é gerada uma matriz média Z de todas as avaliações. Na etapa 2 a matriz média é então multiplicada pelo fator λ – representado pelo menor resultado da divisão de $1/(\text{maior valor de soma da linha ou coluna})$, originando a matriz normalizada D . Na etapa 3, constrói-se a matriz de relações totais T (direta e indireta) de acordo com a equação: $T = D * (I - D)^{-1}$, a qual representa a quantificação da influência total entre fatores. A próxima fase (4) destina-se ao cálculo da intensidade dos efeitos provocados e recebidos, dados, respectivamente pela soma das linhas r_i (efeitos totais provocados pelo fator i aos outros fatores) e c_j (efeitos totais recebidos pelo fator). Deste modo tem-se que $(r_i + c_i)$ representam os efeitos totais, provocados e recebidos, do i -ésimo fator. Quando a expressão for positiva o fator é influente sobre o sistema, caso seja negativo, o fator é mais influenciado pelo sistema. Na fase 5 define-se um limiar α para delimitar

as influências relevantes do sistema, as quais serão exibidas no mapa de influências, sendo calculado através da média entre todas as células da matriz. A etapa final (6) consiste na representação das influências através de um mapa gráfico bidimensional, onde os fatores são representados por pontos, cujas coordenadas x e y são os valores de $(r_i + c_i)$ e $(r_i - c_i)$, respectivamente, e as setas representam a direção das influências entre os fatores considerados.

Para estruturar o modelo DEMATEL no domínio aqui considerado, elaborou-se primeiramente uma matriz quadrada contendo 24 linhas e colunas com os atributos finais de avaliação e espaços para a avaliação de dois especialistas. Como não foram encontrados softwares gratuitos para aplicação do método, desenvolveram-se as etapas de cálculo no próprio Excel a partir das equações e esquemas de aplicação fornecidos pela literatura. Após, a matriz de avaliação foi então enviada a especialistas da instituição para que fosse ponderada de acordo com o domínio estudado. Por restrição de pessoal da instituição disponível no momento, a avaliação foi realizada por um especialista, que adicionou os valores diretamente na matriz média. A estrutura completa de avaliação bem como os processos de cálculo do método se encontram anexados ao repositório pessoal do projeto^{##}.

3.3.3. MÉTODO ANP

O método ANP – *Analytic Network Process* (Processo analítico em Rede) – constitui-se um caso particular e mais avançado do método AHP. Ambos visam avaliar problemáticas através de comparações entre pares de atributos utilizando uma estrutura e escala de razão comum, diferindo-se apenas quanto à sua abordagem: enquanto o AHP realiza comparações entre pares de elementos em relação a um nível imediatamente superior, seguindo a hierarquia, o ANP identifica fluxos de influência e estabelece comparações entre dois ou mais elementos de um

^{##}<https://www.dropbox.com/s/erpom869bdryxa4/ANEXO_%20Etapas_de_Calculo_DEMATEL.pdf?dl=0>

grupo com relação a outro fator/elemento da estrutura, seja do mesmo nível ou não. Tal lógica exige maior esforço na estruturação de comparações mais complexas, mas, em contrapartida, leva a resultados de avaliação mais precisos (SAATY, 2003, p. iii).

Com o intuito de identificar as correlações entre diferentes grupos de atributos para a aplicação do ANP, foram utilizados os resultados obtidos a partir do método DEMATEL. Deste modo, utilizando uma linha de corte de 0,09, foram identificados os atributos que exerceram influência significativa sobre os demais, sendo estes elencados na Figura 3 – o atributo “pai” está representado pelas cores mais escuras, abaixo estão os atributos aos quais ele foi ligado e, ao lado de cada um, o cluster pertencente. Como o ANP só faz comparações pareadas entre dois ou mais atributos de um mesmo cluster com relação a outro qualquer, alguns atributos não puderam ser adicionados.

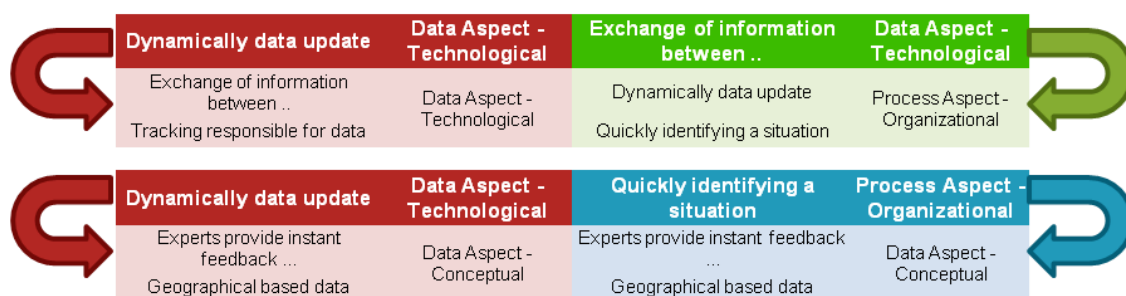


Figura 3 - Relações adicionais ANP. Fonte: Do autor.

As novas ligações foram então enviadas a especialistas para que fossem avaliadas. Dependendo do peso dos atributos envolvidos nas ligações adicionais, os resultados finais do AHP poderão sofrer alterações.

3.3.4. MÉTODO PROMETHEE

A família de métodos PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Evaluation*), integra o grupo de métodos de sobreclassificação com multicritérios de avaliação, sendo exposto originalmente por Jean-Pierre Brans, em

1982 (SANTOS, 2015, apud Araz&Ozkaran, 2007). O método se baseia em relações de subordinação, levando em conta alguns elementos, tais como **Pesos dos critérios** – grau de importância relativa intercritérios, que determina o grau de sobreclassificação de uma alternativa em relação à outra; **Índices de preferência (p)** – valor a partir do qual uma alternativa pode ser considerada com preferência estrita; e **Funções de Preferência** – representação do comportamento característico e comparativo entre os índices de preferência e indiferença. O método estabelece seis funções pré-definidas: Usual Criterion, U-Shape Criterion, V-Shape Criterion, Level Criterion, V Shape With Indifference e Gaussian Criterion (BARAN, 2015).

Os métodos desta família podem ser compostos por duas etapas, sendo a primeira delas voltada à atribuição dos dados relativos aos critérios e alternativas, visando a “construção das relações de sobreclassificação”, e a segunda dedicada à “exploração das relações de apoio à decisão”. O método utiliza o conceito de fluxo líquido(Φ), que leva em consideração a preferência das alternativas comparadas: $\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$. Quanto maior o fluxo líquido melhor será a alternativa, assim, uma alternativa “a” sobreclassifica “b”, se e somente se, $\Phi(a) > \Phi(b)$; e uma alternativa “a” é indiferente à “b”, se e somente se, $\Phi(a) = \Phi(b)$.

Para a aplicação do método, foi utilizado o software Visual PROMETHEE (VP SOLUTIONS, 2013). Os parâmetros do modelo a serem inseridos no software para a aplicação do método e obtenção dos resultados contemplam: *actions* (alternativas), critérios, cenários, pesos dos critérios, e, para cada um deles, os níveis de preferência (p) e indiferença (q), funções de preferência, entre outros.

Diferentemente dos métodos anteriores, que forneceram uma análise diagnóstica do grau de maturidade da instituição avaliada, a aplicação do método PROMETHEE no contexto estudado (atividade A13 do IDEF0) terá como objetivo a identificação e priorização de soluções para o desenvolvimento da instituição no quesito interoperabilidade. Os critérios utilizados no modelo foram os 12 atributos

com o menor resultado a partir do método ANP, sendo redistribuídos os pesos entre si e definidas escalas que consideram uma ordem de importância decrescente de valores. Como alternativas, utilizou-se 17 dos atributos classificados como “soluções técnicas” (etapa A3 do IDEF0), os quais foram previamente analisados e filtrados por funcionários da instituição de acordo com sua viabilidade de aplicação no contexto da organização. A escala de avaliação utilizada contou com valores de 0-10 onde os intervalos representam diferentes níveis de influência da tecnologia para o desenvolvimento do atributo avaliado: 0 (Sem influência); >0 e ≤ 2 (Baixa influência); >2 e ≤ 6 (Média influência); >6 e ≤ 8 (Alta influência); >8 e ≤ 10 (Muito Alta influência).

Ao inserir a estrutura de base no software, iniciou-se a inserção dos parâmetros necessários, considerando cada um dos critérios. Visto que todos eles possuem escala crescente (quanto maior a nota melhor) os campos “Min/Max” foram assinalados como Max. Com relação às funções de preferência e aos níveis de preferência e indiferença (P e Q), foram utilizadas para cada atributo as sugestões do próprio software, que analisa os valores inseridos e fornece os dados mais adequados a estes. Todas as funções sugeridas foram como “lineares”, estando o modelo completo, devidamente estruturado no software, disponível na Figura 4 e na pasta pessoal do projeto^{§§§}.

^{§§§}<https://www.dropbox.com/s/z01agimuwrqwhxl/ANEXO_Modelo_PROMETHEE.pdf?dl=0>

Relatório Final – PIBIC

Disaster Response...	Mobile netw...	Provide user...	Exchange of...	Mobile netw...	Geographical...	GIS consulta...	Structured...	Tracking res...	Acceptable fo...	Provide midd...	Provide user...	Provide acce...
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group												
Preferences												
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
Weight	25,75	17,87	5,21	5,15	5,14	3,35	3,34	5,25	5,10	2,85	9,98	11,01
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	2,709	2,046	2,385	2,648	2,680	2,697	2,714	2,754	2,52	2,14	1,94	2,78
- P: Preference	6,664	3,472	5,826	6,472	6,489	6,624	6,229	6,533	5,89	4,99	3,71	4,80
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics												
Minimum	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum	10,000	7,000	10,000	10,000	10,000	10,000	9,000	9,000	9,00	10,00	7,00	9,00
Average	4,353	0,882	5,529	4,235	4,706	5,294	2,882	4,059	4,29	5,12	1,24	1,18
Standard Dev.	3,289	1,711	2,872	3,191	3,195	3,268	3,046	3,208	2,89	2,45	1,80	2,36
Evaluations												
Attributes based...	0,000	1,000	5,000	0,000	3,000	7,000	9,000	0,000	0,00	3,00	3,00	1,00
Common datasets	3,000	0,000	7,000	2,000	7,000	7,000	7,000	5,000	1,00	3,00	1,00	1,00
Current technolo...	9,000	0,000	5,000	8,000	9,000	9,000	1,000	1,000	7,00	5,00	1,00	0,00
Data distribution...	9,000	1,000	9,000	8,000	3,000	5,000	1,000	1,000	7,00	7,00	3,00	3,00
Digital maps	7,000	0,000	1,000	6,000	10,000	10,000	3,000	5,000	5,00	5,00	1,00	1,00
Events timestamps	5,000	7,000	7,000	7,000	9,000	9,000	0,000	3,000	0,00	0,00	7,00	9,00
Integrated data...	7,000	1,000	9,000	7,000	5,000	5,000	3,000	5,000	5,00	3,00	1,00	0,00
Modular approach	5,000	0,000	3,000	5,000	0,000	0,000	1,000	3,000	7,00	7,00	0,00	0,00
Multiple data for...	1,000	0,000	3,000	1,000	3,000	3,000	5,000	3,000	1,00	3,00	0,00	0,00

Figura 4 - Modelagem do Método PROMETHEE no software Visual PROMETHEE.

4. RESULTADOS

Nesta seção, serão descritas as fases de aplicação e análise efetiva de cada um dos métodos anteriormente estudados e estruturados.

4.1. RESULTADOS MÉTODO AHP/ANP

A fim de verificar a aplicabilidade do modelo, a avaliação foi aplicada em instituição do domínio selecionada – o Instituto das Cidades Inteligentes (ICI), situado na cidade de Curitiba e considerado referência em pesquisa, integração, desenvolvimento e implementação de soluções completas para a gestão pública. O processo avaliativo contou com profissionais da instituição e especialistas no tema (grupo de pesquisa), os quais auxiliaram nas comparações do método AHP, sendo gerados resultados que permitiram um diagnóstico da entidade no que se refere à interoperabilidade na esfera de GRD. O resultado final e os pesos dos atributos, barreiras e perspectivas, obtidos a partir do método, encontram-se na Fig. 5 (esquerda) e em maior detalhe no repositório pessoal do projeto****.

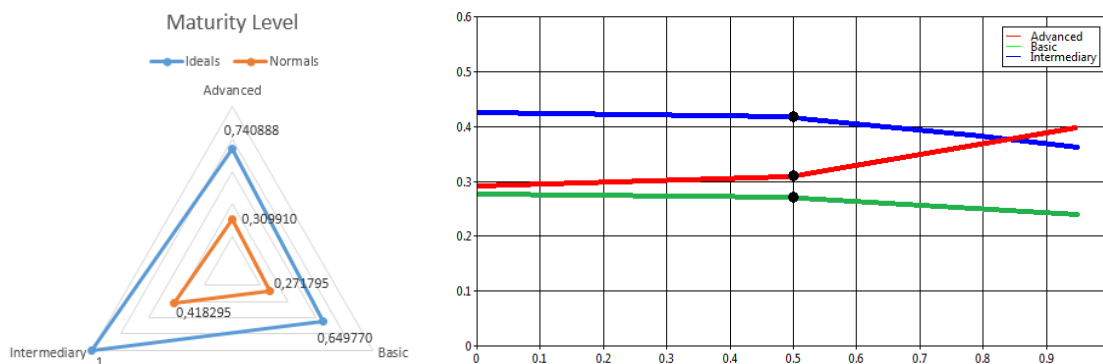


Figura 5 – Esquerda: Gráfico ilustrativo do Resultado Final AHP. Direita: Análise de sensibilidade para o atributo 'Report Supply Points'.

Com base nos resultados obtidos, percebe-se que a perspectiva “Data” (dados) foi considerada a de maior domínio pela a instituição avaliada (57,4%).

****<https://www.dropbox.com/s/cw2mlyiqe2u5qqa/ANEXO_%20Resultado_AHP_Detalhado_Atributos_Perspectivas_e_Barreiras.pdf?dl=0>

Analisando-se o resultado final (gráfico radial da Fig. 5), evidencia-se o posicionamento da organização em um nível intermediário (0.418295), com tendências para possíveis avanços (0.309910), caso consiga melhorar em alguns dos aspectos críticos apontados. O software fornece ainda análises de sensibilidade, permitindo-se a variação intencional do grau de importância de um atributo a fim de verificar seu impacto no resultado final gerado. Desta forma, ao variar, arbitrariamente, o peso do atributo "Report Supply Points", verifiquei que houve um aumento relevante no nível de maturidade – intermediário para avançado –, como visto na Fig. 5 (direita). Tal análise é fundamental para que a instituição reconheça e direcione esforços em pontos-chave de melhoria, capazes de fornecer significativos avanços no desempenho atual.

A avaliação a partir do método ANP contou também com o auxílio dos especialistas, que avaliaram as comparações adicionais entre os atributos com influência significativa sobre dois ou mais de outro grupo. Os resultados comparativos da avaliação AHP/ANP (Fig. 4) revelam pequenas alterações, sendo encontrados os seguintes novos percentuais de enquadramento: 27,18% no nível básico, 30,99% no nível Avançado e 41,83% no nível Intermediário. Como se pode notar, apesar de as alterações não serem tão expressivas, em alguns casos podem chegar a alterar a ordem dos resultados dependendo das relações de influência estabelecidas.

RESULTADOS AHP			RESULTADOS ANP		
Name	Graphic	Normals	Name	Graphic	Normals
Basic		0,275689	Basic		0,271795
Advanced		0,303746	Advanced		0,30991
Intermediary		0,420566	Intermediary		0,418295

Figura 6 – Resultados da aplicação do método AHP/ANP.

4.2. RESULTADOS MÉTODO DEMATEL

A avaliação a partir do método DEMATEL contou com um avaliador da instituição, que realizou a ponderação da matriz de influência, cujos dados serviram

de base para a posterior aplicação das etapas de cálculo. O resultado obtido demonstra as relações de influência sob duas perspectivas: quantitativa e gráfica. Em termos quantitativos, o atributo mais influente e o mais ativo no sistema foi “Atualização dinâmica de dados” e o mais influenciado a “Execução em diferentes tipos de crise”. A Tabela 1 demonstra os resultados completos. Para facilitar a visualização, foram elaborados mapas geográficos contendo as representações das influências de cada atributo, disponíveis no Anexo 1 e na pasta pessoal do projeto^{†††}.

RESULTADO DEMATEL					
Mais ATIVOS (Ri-Ci)		Mais Influentes (Ri)		Mais Influenciados Ci	
Dynamically data update	0,072	Dynamically data update	0,121	Run on different types of crisis	0,104
Exchange of information between ...	0,059	Exchange of information between ...	0,105	Experts provide instant feedback ...	0,069
Single set of rules	0,029	Quickly identifying a situation	0,081	Aceptable for governmental services	0,065

Tabela 1 – Resultados do método DEMATEL. Fonte: Do autor.

4.3. RESULTADOS MÉTODO PROMETHEE

Como comentado, no presente contexto a aplicação do método PROMETHEE objetiva a priorização de soluções técnicas a serem implementadas pela instituição a fim de atuar na melhoria dos atributos nos quais possui menor maturidade. O modelo de avaliação foi então encaminhado à especialistas do domínio estudado, que avaliaram seguindo a escala qual o grau de influencia de cada Solução Técnica para a melhoria dos atributos em questão. Baseado nos valores de Phi resultantes, o software forneceu um ranking com as soluções técnicas que proporcionariam maior potencial de desenvolvimento da organização em termos de capacidade em interoperabilidade, sendo as três mais relevantes: Marca temporal ou “*Timesteps*” ($\Phi+= 0,50$; $\Phi-=0,09$); Distribuição de dados ($\Phi+= 0,25$; $\Phi-=0,06$); e “Formato de arquivo unificado, conversão e UML” ($\Phi+= 0,25$; $\Phi-=0,06$). O software fornece uma série de gráficos que permitem a visualização

^{†††}< https://www.dropbox.com/s/lglcguwpedai82l/ANEXO_Mapa%20_GRD_DEMATEL.pdf?dl=0>

destes resultados através de diferentes pontos de vista, sendo um deles apresentado na Figura 7, demonstrando os perfis de cada atributo em relação à alternativa “Consulta baseada em atributos”. Na Figura 8 e na pasta pessoal do projeto^{***} é possível observar o ranking com as Soluções Técnicas (A), bem como a análise de sensibilidade (B) através do atributo “Mobile Networks”.

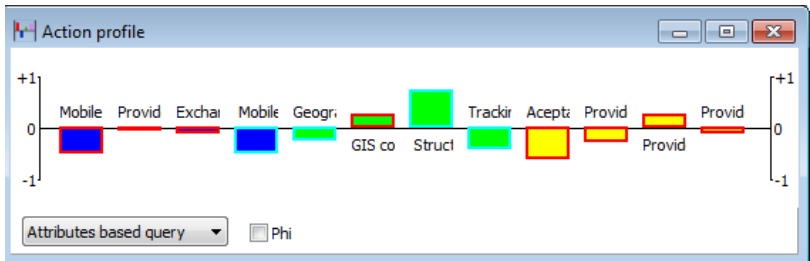


Figura 7 – Resultado método PROMETHEE (software Visual PROMETHEE)

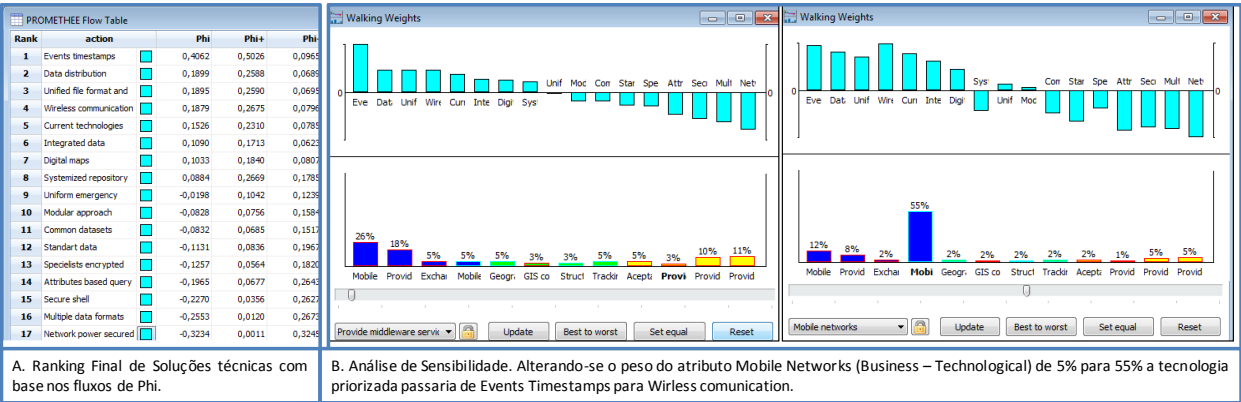


Figura 8 - Resultados e análise de sensibilidade método PROMETHEE – Software Visual PROMETHEE

4.4. COMPARAÇÃO DE MÉTODOS, RESULTADOS E MODELO EIA

Fazendo uma análise comparativa entre os métodos aplicados, percebe-se que o método PROMETHEE, pertencente ao grupo de métodos de sobreclassificação, é o que apresenta uma lógica de cálculo mais robusta, utilizando em sua estrutura uma base de cálculo que leva em conta os chamados limites de

***<https://www.dropbox.com/s/1yhelijpkvjtcuzo/ANEXO_Resultados_PROMETHEE_e_Analise_de_Sensibilidade.pdf?dl=0>

preferência e indiferença. Em termos lógicos, pode-se afirmar que o PROMETHEE e o método DEMATEL assemelham-se, visto que ambos empregam fluxos de influência (Φ_i^+ e Φ_i^- / R_i e C_i) para determinar os resultados da avaliação. Em contrapartida, os métodos AHP e ANP utilizam uma abordagem mais qualitativa, através de uma estrutura de comparação pareada, baseada em preceitos da psicologia e matemática, a fim de estabelecer relações entre os elementos de avaliação e fornecendo os pesos ou graus de importância/maturidade de cada atributo na rede, informação que serve de entrada aos demais métodos estudados. Quanto aos resultados fornecidos, percebe-se que o método DEMATEL diferencia-se dos demais por não se destinar à escolha de uma alternativa específica, mas sim estudar a influência entre fatores, o que o caracterizou como uma ferramenta de base na aplicação do método ANP. No que se refere à suporte de aplicação, ambos os métodos contam com tutoriais e materiais disponíveis na literatura que facilitam a compreensão da metodologia aplicada. Tratando-se de software de apoio, o método PROMETHEE, através do software Visual PROMETHEE, foi o que apresentou a interface mais acessível, disponibilizando recursos de apoio ao usuário para a definição dos parâmetros de cálculo.

Com base nas estruturas de avaliação e, apesar das diferentes metodologias de cálculo, ambos os métodos apresentaram coerência nos resultados obtidos, classificando a instituição em um nível de maturidade Intermediário e definindo para esta as soluções técnicas mais prioritárias a fim de elevar seu atual desempenho. Deste modo, pode-se comprovar a efetividade de ambos na composição de um modelo EIA integrado, que contemple a avaliação de maturidade/capabilidade de determinada instituição em termos de interoperabilidade no domínio de Gestão de Resposta a Desastres, assim como em outros eventuais contextos/problemas envolvendo múltiplos critérios.

5. DISCUSSÃO

Em meio à crescente globalização e à necessidade de entidades de se relacionarem eficazmente na busca por objetivos comuns, o estudo da interoperabilidade vem ganhando cada vez mais relevância e aplicabilidade em diversos domínios, dentre eles o de Gestão de Resposta a Desastres. Neste ambiente, onde a interoperabilidade tem seu papel primordial na superação de crises envolvendo diferentes entidades, são poucos os modelos diagnósticos e frameworks encontrados que visem o desenvolvimento das organizações neste aspecto, tornando-se um desafio inicial a seleção de bibliografias acerca do tema de estudo. Deste modo, o auxílio de mestrands envolvidos em estudos no domínio foi crucial para a seleção das referencias iniciais, que contaram com os estudos de Chen (2008), Cestari (2015) e Atlay & Green (2006) nos temas de Interoperabilidade e GRD, respectivamente. Tais conteúdos forneceram a base para contextualização e compreensão do presente projeto, sendo essenciais ao seu desenvolvimento. Por se tratar de um contexto abrangente, a etapa de levantamento de atributos contou com a participação de especialistas, consultas em diferentes bases de dados, além de softwares de ligação semântica que facilitaram a seleção final destes para o escopo de avaliação tratado.

Por ter tido contato com os métodos AHP/ANP e PROMETHEE em meu PIBIC anterior (domínio de saúde), tive facilidade para a estruturação destes no domínio de GRD. Entretanto, a aplicação do método DEMATEL, adicionado ao escopo do presente projeto, surgiu como um desafio: por não ter tido contato e não haver software disponível foi necessário o desenvolvimento das etapas de cálculo no Excel para obter os resultados pretendidos, o que proporcionou um sólido aprendizado.

Nas fases de avaliação, por questões de volume de trabalho da instituição avaliada (ICI), não foi possível contar com vários especialistas, o que não prejudicou os resultados, mas poderia ser uma oportunidade para o aprimoramento dos dados.

Por fim, os resultados finais obtidos com a aplicação dos métodos evidenciaram que o ICI se encontra em um nível de maturidade de interoperabilidade intermediário. Tal diagnóstico demonstrou não só a eficácia dos métodos mas também sua potencial aplicação conjunta na composição de um modelo EIA que contempla a avaliação de interoperabilidade em diferentes contextos e a priorização de ações para melhorá-la.

6. CONCLUSÃO

A partir do presente estudo, e com alguns ajustes adicionais em seu escopo, pode-se afirmar que os objetivos previamente propostos foram alcançados com êxito.

A partir da análise do contexto de pesquisa é possível perceber que escassez de recursos e as rápidas transformações globais têm exigido das organizações altos níveis de interoperabilidade a fim de serem cooperáveis com outras entidades na busca por objetivos comuns. No domínio de Gestão de Resposta a Desastres, onde o tema é ainda mais crucial, identificam-se poucos estudos voltados à busca de modelos diagnósticos de avaliação de maturidade e identificação dos aspectos críticos de melhoria. Neste sentido, o presente projeto buscou preencher esta lacuna através da investigação de métodos MCDA (AHP, DEMATEL, ANP e PROMETHEE) para composição de um modelo de avaliação de interoperabilidade (EIA) aplicável à entidades do contexto de GRD, tal como o ICI – Instituto das cidades inteligentes.

As fases de desenvolvimento projeto contemplaram 6 etapas, distribuídas em: revisão bibliográfica (seleção de referências de base para compreensão do contexto); Levantamento e classificação de atributos a partir do espaço problema (perspectivas que melhor caracterizam o contexto avaliado); Elaboração e aplicação do método AHP, DEMATEL, ANP e PROMETHEE; e, comparação entre métodos e conclusões.

Os resultados finais obtidos se mostraram coerentes e evidenciaram que o ICI se encontra em um nível de maturidade de interoperabilidade intermediário. Seus principais pontos fracos foram “Redes móveis”, “Fornecimento de relatório de usuários”, e “Fornecimento de relatório de dados”, sugerindo-se ações voltadas à introdução de “*Timestemps*”; a “Distribuição de dados”; e o “Formato de arquivo unificado e conversão de UML” a fim de se avançar em seu nível de maturidade.

Vale ressaltar que o presente estudo faz parte de um escopo mais amplo de pesquisa a nível do PPGEPS, no qual professores, mestrandos e instituições estão envolvidos em uma força tarefa para explorar o tema e buscar avanços científicos no domínio estudado. De forma a divulgar a riqueza de conhecimentos gerados neste PIBIC, os resultados obtidos ofereceram contribuição para a publicação conjunta artigo no *Journal of industrial information integration* (2017), sendo vislumbrada a submissão de outros artigos posteriores em conferências internacionais ou periódicos de fator de impacto relevante.

3 REFERÊNCIAS

ATLAY, N. AND GREEN, W., **OR/MS research in disaster operations management**, European Journal of Operational Research, vol. 175, 2006, pp. 475–493.

Avanzi, D. Da Silva ; Foggiatto, A. ; Dos Santos, V.A. ; Deschamps, F. ; De Freitas Rocha Loures, e. **A framework for interoperability assessment in crisis management**. Journal of industrial information integration, v. 5, p. 26-38, 2017.

BADIRU, Adedeji B.; RACZ, LeeAnn. **Handbook of Emergency Response: A Human Factors and Systems Engineering Approach**. CRC Press, 22/08/2013 - 758 pág.

BARAN, Leandro Roberto. **Proposta de um modelo multicritério para determinação da criticidade na gestão da manutenção industrial**. 2015. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015.

BARTHE-DELANOË, A., BÉNABEN, F., CARBONNEL, S AND PINGAUD, H., **Event-Driven Agility of Crisis Management Collaborative Processes**,

Proceedings of the 9th International ISCRAM Conference – Vancouver, Canada, April 2012.

CESMECI, Nazmi; ÖZKAYNAK, Süleyman; ÜNSALAN, Deniz. **The Effect of Crises on Leadership. In: Management Association, Information Resources.** Crisis Management: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications. IGI Global (30/09/2013). p. 804-812.

CESTARI, José M. A. 2015. **Structuring A Research For Assess Public Administration Interoperability.** 2014. Tese de qualificação em doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas – PUCPR, Curitiba, 2015;

CHEN, D., VALLESPER, B., DACLIN, N., 2008b. **An approach for enterprise interoperability measurement.** In: Proceedings of MoDISE-EUS.

FALATOONITOOSI, Elham; AHMED, Shamsuddin; SOROOSHIAN, Shahryar. **Expanded DEMATEL for determining cause and effect group in bidirectional relations.** The Scientific World Journal, v. 2014, 2014.

SAATY, Rozann W. 2003. **Decision Making in Complex Environments.** Disponível em: <<http://www.croce.ggf.br/dados/Tutorial%20superdecisions.pdf>>. Acesso em: 20 de Novembro de 2016.

SUMRIT, Detcharat; ANUNTAVORANICH, Pongpun. **Using DEMATEL method to analyze the causal relations on technological innovation capability evaluation factors in Thai technology-based firms.** Int Trans J EngManagApplSciTechnol, v. 4, n. 2, p. 081-103, 2013.

VP Solutions. **Visual PROMETHEE 1.4 – Manual and Help file.** 2013. Disponível em: <<http://www.promethee-gaia.net/files/VPManual.pdf>>. Acesso em: 17 de maio de 2017.