

A Qualidade dos Dados de Observação em Engenharia Civil

Ana Lucas ¹, António Palma-dos-Reis ², Mário Caldeira ³

- 1) LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil e
ISEG – Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa, Portugal
ana.lucas@lnec.pt
- 2) ISEG – Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa, Portugal
apreis@iseg.utl.pt
- 2) ISEG – Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa, Portugal
caldeira@iseg.utl.pt

Resumo

Neste artigo apresenta-se o trabalho desenvolvido e discutem-se as conclusões obtidas relativamente à identificação e definição das dimensões da qualidade dos dados relativos ao controlo da segurança de grandes obras de engenharia civil. A análise do comportamento e o controlo da segurança daquelas obras depende, fundamentalmente, da qualidade dos dados recolhidos através de sensores, denominados *dados de observação*, da dos modelos de análise utilizados e, naturalmente, do perfil dos especialistas.

Para além disso, o LNEC trata e preserva os dados de observação sobre grandes obras de engenharia civil, que representam uma importante fonte de pesquisa para o LNEC e as Universidades, o que configura um cenário de *e-Science*¹. De forma diversa de outros autores de ambientes de *e-Science*, este trabalho não se restringe às dimensões objectivas, cujas medidas podem ser calculadas automaticamente. Afigura-se, a partir da opinião de especialistas, que algumas dimensões subjectivas podem enriquecer a qualidade da informação a disponibilizar sobre os dados arquivados, à custa de algum trabalho adicional de *data curation*.

No desenvolvimento desta investigação foi utilizado o método Delphi com a técnica Q-Sort, numa versão online, complementado a montante com entrevistas a especialistas e a jusante com uma reunião com peritos. Obtiveram-se dez dimensões para a qualidade de dados de observação, ordenadas por ordem de importância, que são o *erro-de-observação*, *coerência*, *relevância*, *interpretabilidade*, *actualidade*, *completude*, *acessibilidade*, *volume de dados apropriado*, *segurança e preservação*.

¹ Em sentido lato, *e-Science* diz respeito ao conjunto de técnicas, serviços, pessoas e organizações envolvidas na produção de ciência em colaboração e em rede, através da utilização de tecnologias da informação.

Palavras chave: dimensões da qualidade de dados, dados de observação, sensores, obras de engenharia civil

1. Introdução

A observação de grandes obras de engenharia civil desempenha um papel fundamental no estudo do seu comportamento e controlo de segurança, na calibração dos modelos utilizados para avaliação da segurança e na identificação de áreas que exigem mais estudos e investigação. Actualmente a observação é a principal fonte de conhecimento sobre o comportamento real das obras.

As actividades de observação incluem essencialmente a selecção de algumas variáveis de controlo de comportamento, relacionadas com as principais acções (p. ex. temperaturas, níveis da água); as propriedades estruturais das obras e os efeitos directos das acções (deslocamentos, tensões, etc); a colocação nas obras de sensores capazes de observar as variáveis de controlo de comportamento e a sua leitura periódica, efectuada de forma manual ou automática, ao longo da vida útil das obras. Os dados obtidos a partir das leituras, complementados por inspecções visuais são, após validação, análise e interpretação, o input básico dos modelos utilizados para avaliação da segurança.

Os dados de observação das grandes obras de engenharia civil são armazenados e preservados pelos respectivos proprietários ao longo da vida útil das obras e, nalguns casos, por organismos nacionais. É o caso dos registos de grandes barragens portuguesas armazenados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que representam uma importante fonte de pesquisa para o LNEC e as Universidades. Essa situação configura um cenário de *e-Science*, estando actualmente a decorrer um projecto de investigação que visa a integração dos conceitos de qualidade dos dados e de preservação digital: por um lado considera-se a preservação de dados como uma dimensão da respectiva qualidade, e por outro preservar-se-ão, como metadados, os indicadores de qualidade no processo de *digital curation* [Martinez, Hammer e Ranka 2008].

Definindo qualidade dos dados como a adequação dos mesmos ao uso que lhes dão os seus utilizadores (*data that are fit for use by data consumers*) [Wang e Strong 1996], torna-se necessário determinar o que medir e como. As dimensões da qualidade dos dados são, na presente situação, as características da qualidade que têm significado para os especialistas² e investigadores de segurança das obras de engenharia civil. Apesar de se associar intuitivamente

² No âmbito deste trabalho designar-se-ão por especialistas ou peritos os engenheiros responsáveis pela análise do comportamento e controlo de segurança das obras.

qualidade de dados a características intrínsecas, como p. ex. exactidão e consistência dos dados entre si, facilmente se conclui, utilizando o conceito acima, que existem outras características dos dados apreciadas pelos respectivos utilizadores (p. ex. interpretabilidade, relevância, etc).

A qualidade de dados em ambientes de *e-Science* tem sido tratada no âmbito do projecto Qurator [Missier et al. 2006; Preece et al. 2006] e por Martinez, Hammer e Ranka [2008], enquanto a qualidade de dados recolhidos através de sensores tem vindo a ser investigada por Wallis et al. [2007], Shankaranarayanan e Gaynor [2008], Klein [2007] e Klein et al [2007].

Entendeu-se utilizar, tal como Missier et al. [2006], Preece et al. [2006], Martinez, Hammer e Ranka [2008] e Scannapieco e Catarci [2002] as dimensões da qualidade dos dados disponíveis na literatura, seleccionando as aplicáveis ao domínio em análise e adaptando a respectiva definição.

Embora considerando, tal como decorre da definição, que a qualidade dos dados é função das necessidades dos respectivos utilizadores, entende-se que as medidas relativas às várias dimensões devem ser disponibilizadas, à imagem do proposto por Martinez, Hammer e Ranka [2008], pelos respectivos fornecedores que, neste como em muitos outros casos de ambientes de *e-Science*, são simultaneamente os seus primeiros e principais utilizadores. Desta forma, os restantes utilizadores passarão a dispor de medidas atribuídas por especialistas, que lhes permitirão seleccionar os dados com base nas suas próprias necessidades de qualidade. Numa perspectiva diferente da defendida por Martinez, Hammer e Ranka [2008], e porque se consideram os dados como um produto cuja qualidade é entendida pelos seus utilizadores, entendeu-se não restringir as dimensões a seleccionar pelos especialistas apenas às objectivas, dando-lhes também oportunidade de escolher as subjectivas aplicáveis, cuja avaliação será efectuada através de inquéritos aos respectivos fornecedores e primeiros utilizadores [Lee, Strong, Kahn e Wang 2002].

Este documento apresenta o trabalho desenvolvido e as conclusões obtidas relativamente à identificação e adaptação das definições das dimensões da qualidade dos dados aplicáveis ao controlo da segurança de grandes obras de engenharia civil.

O presente trabalho envolveu os seguintes aspectos inovadores:

- Identificação e definição das dimensões da qualidade dos dados de observação de grandes obras de engenharia civil;
- Utilização de um método rigoroso para a identificação das dimensões da qualidade dos dados de um domínio específico.

O documento está organizado da seguinte forma: no capítulo 2. apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre a problemática da observação de grandes obras de engenharia civil e sobre as diferentes perspectivas relativas às dimensões da qualidade dos dados. O capítulo 3 apresenta o enquadramento metodológico e o capítulo 4. o trabalho desenvolvido, os resultados obtidos e respectiva discussão. Finalmente no capítulo 5. apresentam-se as conclusões, no capítulo 6. as limitações do estudo, no capítulo 7. enunciam-se algumas linhas de investigação futura e no capítulo 8 apresentam-se as referências bibliográficas.

2. Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta os fundamentos sobre que se desenvolveu este trabalho, designadamente a observação de grandes obras de engenharia civil e as dimensões da qualidade dos dados.

2.1. A Observação de Grandes Obras de Engenharia Civil

A observação de obras compreende:

um vasto conjunto de medidas que permitem conhecer permanentemente o estado das obras, de modo a detectar ocorrências que ponham em risco a fiabilidade (segurança e funcionalidade) destas e a tomar as medidas correctivas necessárias para prevenir ou minorar eventuais consequências. Para além deste objectivo fundamental de controlo de fiabilidade das obras, a observação permite também obter informação do maior interesse para a modelação, o projecto e a realização de obras futuras, para a avaliação dos critérios de fiabilidade e, ainda, para a identificação das áreas que necessitam de estudo e investigação [Oliveira-Pedro 1999].

Aquando do projecto da obra é definido um *sistema de observação* que consiste na escolha das grandezas a observar e no local onde se efectua a sua medição, tendo em consideração o período de vida da obra, a probabilidade de ocorrência de acontecimentos anómalos e, finalmente, tendo em vista a quantificação da segurança. No sistema de observação são também definidas as especificações dos dispositivos de observação a utilizar.

Os dados recolhidos através do sistema de observação são integrados com dados históricos e processados com vista à obtenção de indicadores sobre o comportamento das obras, bem como à elaboração de estudos sobre as mesmas.

Com vista a um melhor entendimento sobre o que está em causa, passar-se-ão a definir alguns conceitos relativos à observação de obras [Oliveira-Pedro 1999]:

- Na observação de obras designam-se por *dados de observação* os valores recolhidos directamente da observação, por vezes sob a forma de grandezas eléctricas ou de outra

natureza, relacionadas com as grandezas associadas ao comportamento da obra cuja observação se pretende realizar (deslocamentos, deformações, etc.);

- Aqueles dados têm portanto de ser transformados nas grandezas ligadas ao comportamento, utilizando constantes específicas de cada aparelho instalado, de acordo com calibração efectuada aquando da colocação e repetida ao fim de um período mais ou menos dilatado. É habitual designar as grandezas assim determinadas por *resultados da observação*;
- Designa-se por *interpretação dos resultados da observação*, a correlação entre os diversos resultados da observação, relativos às acções (temperaturas, níveis da água, etc.), às características da estrutura (deformabilidade, resistência, etc.) e às respostas estruturais (ou efeitos estruturais) (deslocamentos, deformações, tensões, etc.), bem como as eventuais consequências destes efeitos (abertura de fendas e outras roturas pontuais, deslizamentos, etc.), a qual é realizada por intermédio de *modelos* mais ou menos sofisticados. Estes modelos costumam classificar-se como *estatísticos* ou *determinísticos*, intervindo nestes últimos hipóteses de natureza física (mecânica, térmica, etc.) associadas ao problema em análise.

Para além disso, considera-se que a análise e interpretação dos resultados da observação pode dar informação sobre a qualidade dos dados de observação.

Quando o comportamento da obra não se adapta à interpretação dos resultados da observação, podem acontecer as seguintes situações (cumulativamente ou não):

- Os dados não têm qualidade;
- A obra alterou o seu comportamento e o modelo passou a ser desadequado (deixou de ter qualidade para as novas circunstâncias).

No âmbito deste trabalho apenas se tratará da *qualidade dos dados* e dos *resultados de observação* de obras que, no âmbito deste documento e por questões de simplicidade, se passará a designar por *qualidade de dados de observação*.

2.2. As Dimensões da Qualidade dos Dados

As dimensões da qualidade de dados apresentadas na literatura referem-se quer aos dados em extensão, ou seja, aos seus valores, quer em intenção, ou seja à sua definição (esquema). Embora ambas as vertentes sejam importantes, no decorrer deste trabalho tratar-se-á apenas da primeira, pois são os valores dos dados que constituem a matéria-prima para o controlo da

segurança das obras. A segunda vertente refere-se sobretudo à normalização do esquema relacional (segundo Codd) e não foi objecto do presente estudo.

Batini e Scannapieco [2006 p.36-39] identificam três aproximações à identificação e definição das dimensões, disponíveis na literatura e de que se apresentam os primeiros autores: a) Teórica [Wang e Wang 1996]; b) Empírica [Wang e Strong 1996] e c) Intuitiva [Redman 1996].

Embora não exista consenso entre as várias propostas, nem quanto ao conjunto de dimensões, nem quanto às respectivas definições, existem quatro dimensões, porventura as mais significativas, que apesar de pequenas diferenças na definição, são comuns às três propostas: *exactidão, actualidade, completude e consistência*.

No caso da qualidade dos dados relativos ao controlo da segurança de grandes obras de engenharia civil, pretende-se obter um conjunto de dimensões com as seguintes características, à imagem do discutido por Scannapieco e Catarci [2002]:

- Tenha seguido um processo rigoroso para a sua definição;
- Tenha enfoque nos valores dos dados, que constituem a matéria-prima para o controlo da segurança das obras;
- Considere os dados como um produto, cujo processo de produção possa ser melhorado para obter uma qualidade superior.

Face ao exposto e tendo em consideração a análise comparativa das várias propostas elaborada por Scannapieco e Catarci [2002], a nossa opção será, sobretudo, pela aproximação empírica [Wang e Strong 1996].

Apesar disso e porque se entende que as dimensões da qualidade dos dados e a sua importância relativa são muito dependentes do domínio específico de aplicação [Missier et al. 2006; Preece et al. 2006; Martinez, Hammer e Ranka 2008; Scannapieco e Catarci 2002], ir-se-á analisar, ouvindo os especialistas, quais das quinze dimensões propostas por Wang e Strong [1996] são aplicáveis ao domínio dos *dados de observação*, adequar as respectivas definições, bem como procurar eventualmente outras dimensões significativas naquele domínio e que não tenham sido propostas.

3. Método de Investigação

Este projecto de investigação é de natureza predominantemente qualitativa, em que se pretende interpretar a opinião de um conjunto significativo de especialistas de observação de obras sobre as dimensões da qualidade dos *dados de observação* e respectivas definições. Para o efeito utilizaram-se entrevistas, um conjunto de questionários Delphi com Q-Sort disponibilizados

online e uma reunião final para análise dos resultados obtidos no estudo Delphi, selecção das dimensões a reter e afinação das respectivas definições.

3.1. O Método Delphi com a Técnica Q-Sort

O método Delphi original foi desenvolvido por Norman Dalkey da RAND Corporation na década de 50 do século passado para um projecto militar patrocinado pelos EUA. É um processo iterativo para combinar as opiniões de um grupo de especialistas de forma a tentar obter um consenso.

Linestone e Tuoff [1975 p.3] citado por Yousuf [2007] definem-no como “um método para estruturar um processo de comunicação em grupo de indivíduos que, como um todo, possam chegar a acordo acerca de um problema complexo”. Trata-se de um método que permite analisar dados qualitativos. Não utiliza amostragem aleatória recorrendo, no entanto, a um conjunto de peritos. Um perito, no contexto de um estudo Delphi, deve ser um especialista na área do conhecimento em que se desenvolve o estudo.

Um estudo Delphi consiste na realização de uma série de questionários, correspondendo cada questionário a uma ronda. As rondas continuam até à obtenção de um consenso ou à constatação de que o mesmo não é possível.

Rowe e Wright [1999] citado por Skulmoski, Hartman e Krahn [2007] caracterizam o Delphi clássico através de quatro características-chave:

- Anonimato;
- Iteração – os participantes podem refinar as suas opiniões tendo em consideração o progresso do trabalho, de ronda para ronda;
- *Feedback* – os participantes são informados dos resultados obtidos em cada ronda;
- Utilização de ferramentas estatísticas para identificar padrões de consenso.

A primeira ronda pode iniciar-se com um conjunto aberto de questões (no caso presente dimensões da qualidade dos dados) ou com um conjunto de questões propostas pelo investigador a partir da revisão da literatura [Issac e Michael 1981, p. 115 citado por Yousuf 2007; Skulmoski, Hartman e Krahn 2007]. Os peritos podem propor, em qualquer das rondas, novas questões (no caso presente, dimensões da qualidade dos dados) pertinentes do seu ponto de vista.

Os peritos seleccionados para o estudo foram especialistas e investigadores do LNEC, responsáveis pela observação e controlo de segurança de grandes obras de engenharia civil,

nomeadamente barragens de betão e de aterro e pontes. Apesar de todos trabalharem no *campus* do LNEC, o número de envolvidos (cerca de 40) e várias dificuldades de agenda acabaram por ditar a utilização do Delphi, que foi complementado a montante por entrevistas e a jusante por uma reunião com especialistas seleccionados, à imagem do proposto por Gottschalk, Christensen e Watson [1997] e Skulmoski, Hartman e Krahn [2007].

Linstone [1978] citado por Yousuf [2007] identificou duas circunstâncias em que o método Delphi é apropriado:

- “O problema não se presta a uma análise técnica precisa, mas pode beneficiar de julgamentos subjectivos numa base colectiva;
- Os peritos seleccionados têm dificuldade em encontrar-se todos presencialmente numa reunião, devido a constrangimentos de tempo ou de custo”.

Neste estudo aplicam-se as duas circunstâncias acima mencionadas, pelo que se optou pela utilização daquele método.

A metodologia Q foi desenvolvida por William Stepheson [Stepheson 1953 citado por Santos 2004] e proporciona fundamentos para o estudo sistemático da subjectividade. A característica distintiva da técnica Q-Sort, uma das componentes da metodologia Q, é que é requerido aos membros do painel que ordenem os factores fornecidos segundo uma distribuição predefinida, aproximadamente normal.

A técnica Q-Sort é normalmente preferida relativamente a uma escala de Likert quando se pretende uma ordenação e não apenas uma ponderação.

Esta investigação iniciou-se com a revisão da literatura sobre a observação de grandes obras de engenharia civil e as dimensões da qualidade dos dados (Capítulo 2.), a que se seguiu a selecção do método de investigação (Capítulo 3.) e dos especialistas e investigadores a envolver no estudo, que se desenrolou em quatro etapas complementares:

1. Preparação do questionário: as dimensões da qualidade dos dados propostas por Wang e Strong [1996] foram objecto de uma série de entrevistas com especialistas para seleccionar as que melhor se adaptavam ao domínio dos dados de observação, adaptar as respectivas definições a esse domínio e, eventualmente, acrescentar dimensões. Nesta etapa foi também aplicada uma primeira versão do questionário a três participantes, para validação do entendimento da definição das dimensões;
2. Aplicação do questionário Delphi com Q-Sort a um conjunto de especialistas de observação de grandes obras de engenharia civil;

3. Reunião com alguns especialistas seniores, para discussão dos resultados obtidos, selecção das dimensões a reter e afinação final das respectivas definições.

4. Recolha de Dados, Resultados e Discussão

4.1. Primeira Etapa – Entrevistas com Especialistas

De forma a seleccionar e definir as dimensões aplicáveis aos sistemas de observação de grandes obras de engenharia civil, a serem posteriormente avaliadas por peritos através do método Delphi, tiveram lugar entrevistas com seis especialistas, durante dois meses.

Como resultado destas entrevistas e consensualmente:

- Foram retiradas as seguintes dimensões porque, segundo os especialistas, não são aplicáveis ou são redundantes relativamente a outras: *objectividade, credibilidade, reputação, valor acrescentado, fácil compreensão, representação concisa*;
- A dimensão *representação consistente* foi redefinida com um sentido próximo do apresentado para *consistência* por Redman [1996], passando da categoria representatividade à intrínseca. Os especialistas preferiram a utilização do termo *coerência* (ver Tabela 1);
- Para a dimensão *exactidão* foi seleccionada a definição proposta por Redman [1996];
- As restantes dimensões foram analisadas e a sua definição adaptada ao domínio em análise.

Apresentam-se seguidamente os resultados obtidos nesta primeira etapa.

Categoria	Definição	Dimensões
Intrínseca	Qualidade intrínseca dos dados	Exactidão, Coerência
Acessibilidade	Segurança e Facilidade de acesso	Facilidade de Acesso, Segurança de Acesso
Contextual	Em que medida os dados servem para as tarefas que sobre eles são executadas	Relevância, Actualidade, Completude, Volume de Dados Apropriado
Representatividade	Importância da apresentação dos dados	Interpretabilidade

Tabela 1 - Categorias e dimensões da qualidade de dados de observação de grandes obras de engenharia civil após a primeira etapa. Adaptado de Wang e Strong [1996]

Definições das dimensões que foram, sempre que necessário, adequadas ao domínio em análise:

– **Definição das Dimensões da Categoria Intrínseca**

1. *Exactidão* – consiste no grau de conformidade da quantidade medida (v') com o seu valor real (v). No caso dos sistemas de observação esta dimensão comporta diversos aspectos distintos, nomeadamente:
 - 1.a. Adequabilidade dos dispositivos de observação³ e dos aparelhos de leitura para medir a grandeza pretendida (qualidade, precisão, resolução);
 - 1.b. Correcta utilização dos aparelhos de leitura por parte dos observadores (em leituras manuais);
 - 1.c. Qualidade da transmissão de dados entre o computador existente na obra e o servidor (em leituras automáticas).

Considerando a exactidão normalizada entre 0 e 1 (em que 0 representa o pior valor e 1 o melhor), ela pode teoricamente ser calculada (representando o expoente s um parâmetro de sensibilidade) como:

$$\text{exactidão} = \left[\max \left(0, 1 - \left| \frac{v - v'}{v} \right| \right) \right]^s$$

2. *Coerência* – Em que medida os dados são compatíveis uns com os outros e satisfazem as regras que lhes são aplicáveis. A avaliação desta dimensão pode exigir a interpretação e modelos.

– **Definição das Dimensões da Categoria Acessibilidade**

1. *Facilidade de Acesso* – Os dados devem ser fácil e rapidamente encontrados pelos utilizadores autorizados.
2. *Regras de Segurança* – Os dados só podem ser acedidos pelos utilizadores devidamente autorizados.

³ No caso dos sistemas de observação, para medir o valor de uma grandeza é necessário dispor de um **dispositivo de observação** ou **sensor** (p. e fio de prumo) e de um **aparelho de leitura** (p. ex. coordenómetro) ou **data logger** (no caso de leitura automática)

– Definição das Dimensões da Categoria Contextual

1. *Relevância* – Em que medida os dados são eficazes para os fins a que se destinam e são eficientes na sua utilização. Esta dimensão materializa-se na definição dos sistemas de observação.
2. *Actualidade* - A idade dos dados disponíveis no sistema de informação deve ser adequada para as tarefas a realizar com eles.
3. Segundo Ballou, Wang, Pazer e Tayi [1998] a actualidade de um dado inicial pode calcular-se da seguinte forma:

$$actualidade = \left\{ \max \left[\left(1 - \frac{idade + (tempo_de_disponibilização - tempo_de_input)}{volatilidade} \right), 0 \right] \right\}^s$$

Em que *idade* corresponde à idade do dado no instante em que é recolhido no sistema de informação, *tempo_de_input* ao instante da recolha, *tempo_de_disponibilização* ao instante em que o dado é disponibilizado ao utilizador e *volatilidade* ao período de tempo em que o dado permanece válido. O expoente *s* é um parâmetro que permite controlar a sensibilidade da actualidade relativamente ao rácio apresentado. A actualidade é, assim, medida numa escala contínua de 0 a 1, onde 0 significa que os dados são inaceitáveis do ponto de vista da actualidade e 1 que os dados satisfazem as regras mais rígidas [Ballou, Wang, Pazer e Tayi 1998].

4. *Completude* – Em que medida não existem leituras em falta (devido a falha humana, mau funcionamento dos aparelhos de leitura ou deficiência das comunicações) e os dados são os necessários e suficientes para dar uma resposta adequada ao problema em causa.
5. *Volume de Dados Apropriado* - Em que medida o volume de dados disponível é o apropriado.

Esta dimensão está relacionada com a frequência das medições e com a capacidade de alterar essa mesma frequência de acordo com necessidades várias.

O volume de dados deve ser o mínimo que permita uma resposta adequada aos fins a que se destina. Apesar disso, é conveniente que se verifique alguma redundância em relação aos dados com maior relevância.

– Definição da Dimensão da Categoria Representatividade

1. *Interpretabilidade* – Os dados devem ser disponibilizados em formatos e unidades apropriados e as suas definições devem ser claras.

As nove dimensões em análise foram colocadas num questionário Delphi online, com Q-Sort disponibilizado pela Universidade do Minho em <http://www3.dsi.uminho.pt/gavea/delphi/default.asp>

4.2. Segunda Etapa – Estudo Delphi com Q-Sort

1ª Ronda do Estudo Delphi

Na 1ª ronda foram inquiridos 36 especialistas em observação de barragens de betão, de aterro e de pontes e foram apresentadas as 9 dimensões constantes da Tabela 1, com as definições disponibilizadas no tópico anterior. Skulmoski, Hartman e Krahn [2007] consideram que, no caso de um grupo homogéneo, bastariam 10 a 15 participantes, embora também apontem que um maior número melhora a qualidade da decisão.

Esta ronda decorreu durante duas semanas e responderam 22 especialistas, o que corresponde a uma taxa de 61%, considerada média. A forma de contacto com os especialistas foi o *email* e o telefone.

Do conjunto das respostas à 1ª ronda foi possível obter uma primeira ordenação das dimensões da qualidade dos dados por importância, obtida de acordo com a seguinte lógica: à dimensão classificada em primeiro lugar (mais importante) foi atribuído 1 ponto, 2 pontos à classificada em segundo lugar e assim sucessivamente até à classificada em último lugar (menos importante) à qual foram atribuídos 9 pontos. A soma dos pontos obtidos por cada dimensão, de acordo com a resposta dos membros do painel, determina a respectiva pontuação. O *ranking* é obtido pela ordenação crescente das pontuações, o menor somatório é o mais importante e o maior é o menos importante. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Os especialistas atribuíram uma posição destacada à exactidão e à coerência, que obtiveram o mesmo número de pontos (60), tendo-se distinguindo apenas pelo desvio padrão.

Para avaliar o nível de concordância entre os membros do painel foi utilizado o coeficiente Kendall's W [Schmidt 1997; Santos 2004; Skulmoski, Hartman e Krahn 2007], cujo valor foi de 0.513, significativo ao nível de 0,000, o que, segundo Schmidt [1997], significa concordância moderada. Este coeficiente varia entre 0 (sem consenso) e 1 (consenso perfeito). Não foram propostas novas dimensões.

2ª Ronda do Estudo Delphi

Para a 2ª ronda foram convidados 24 especialistas: os 22 que responderam à 1ª, bem como dois grandes especialistas nacionais em observação de barragens.

Esta ronda decorreu durante duas semanas e dos 24 especialistas convidados responderam 18, o que corresponde a uma taxa de resposta de 75%.

Do conjunto das respostas à 2ª ronda foi possível obter uma nova ordenação das dimensões da qualidade dos dados por importância. Os resultados são apresentados na tabela seguinte.

Dimensão	Resultados 2ª Ronda				Resultados 1ª Ronda
	Posição	Somatório pontos	Média	Desvio Padrão	Posição
Exactidão	1	42	2.33	1.78	1
Coerência	2	48	2.67	1.24	2
Relevância	3	50	2.78	1.52	3
Interpretabilidade	4	74	4.11	2.22	4
Actualidade	5	89	4.94	1.76	5
Completude	6	115	6.39	1.79	7
Facilidade de Acesso	7	118	6.56	1.46	6
Volume de Dados	8	127	7.06	1.59	8
Segurança de Acesso	9	147	8.17	1.25	9

Tabela 2 - Ordenação das dimensões resultante da 1ª e 2ª rondas

O coeficiente Kendall's W tem o valor de 0.615, significativo ao nível de 0,000, o que, segundo Schmidt [1997] está próximo do valor de forte concordância (0.7), pelo que se entendeu não efectuar mais nenhuma ronda.

O coeficiente de correlação de Spearman's rho [Santos 2004] entre a ordem das dimensões na 1ª e na 2ª ronda é de 0.967, significativo ao nível de 0,01. Efectivamente entre a 1ª e a 2ª ronda a ordenação manteve-se, apenas com troca de posição entre as dimensões relativas às posições 6 (completude) e 7 (facilidade de acesso). Esta situação reflecte a teoria associada ao Q-Sort que refere que os membros do painel têm maior segurança nas questões mais e menos importantes.

Da interpretação da Tabela 2 pode deduzir-se, intuitivamente, a importância que os membros do painel atribuem às várias dimensões da qualidade:

- As mais importantes são a exactidão, coerência e relevância. Nesta ronda os especialistas deram claramente o 1º lugar à exactidão, seguida de perto pela coerência e pela relevância;
- Seguem-se a interpretabilidade e a actualidade;

- Menos relevantes são a completude, facilidade de acesso e volume de dados e, finalmente, a segurança de acesso.

Esta interpretação foi comprovada estatisticamente através da análise de *clusters*. Utilizou-se o Ward's Method for Hierarchical Clusters [Santos 2004] na ferramenta SPSS, tendo cada dimensão sido caracterizada pelo somatório das pontuações atribuídas pelos membros do painel e pelo respectivo desvio padrão.

De notar, os seguintes factos:

1. A dimensão actualidade só é estranhamente considerada em 5º lugar;
2. Nenhuma das dimensões da categoria acessibilidade foi muito considerada pelos peritos.

4.3. Terceira Etapa – Reunião com Especialistas

Convidaram-se para uma reunião final quatro dos mais seniores especialistas portugueses de observação de obras, de que três também participaram no estudo Delphi. Estes especialistas fizeram-se acompanhar de três jovens investigadores, de que dois também responderam ao estudo Delphi.

A reunião demorou quatro horas, tendo sido previamente disponibilizada a seguinte ordem de trabalhos:

1. Afinar as definições das dimensões da qualidade dos *dados de observação*;
2. Entender a razão porque a dimensão *actualidade* só ocupa o 5º lugar (intuitivamente esperar-se-ia que esta dimensão ficasse mais próxima do topo);
3. Seleccionar as dimensões a reter para avaliar e melhorar a qualidade dos dados de observação, tendo em conta a ordenação da 2ª ronda;
4. Entender se as dimensões pertinentes, identificadas no ponto anterior, são válidas para aparelhos de leitura manual e automática. Se não, identificar quais as aplicáveis a cada tipo de aparelhos.

– Afinar as Dimensões da Qualidade dos Dados de Observação

Os especialistas entenderam dever acrescentar uma nova dimensão, *preservação*, às dimensões da qualidade objecto no estudo Delphi, com a seguinte definição: garantia de que qualquer utilizador ou sistema pode aceder e interpretar os dados no contexto em que foram criados. Esta dimensão foi consensualmente colocada na categoria *acessibilidade*.

Foram afinadas, sem alterar o conceito base, ou melhor especificadas as definições das seguintes dimensões: *exactidão*, *facilidade de acesso*, *segurança de acesso*, *completude* e *volume de dados* que passaram a ser definidas da seguinte forma:

- *Exactidão* – A dimensão *exactidão* foi substituída pelo *erro-de-observação* por este ser, segundo os especialistas, mais utilizado na observação de obras. Considerando v o valor verdadeiro da variável e v' o valor medido, pode teoricamente calcular-se o erro-de-observação do valor v' (normalizado entre 0 e 1, em que 0 representa o valor mais favorável e 1 o menos favorável) como:

$$\text{erro} = \left[\min \left(1, \left| \frac{v - v'}{v} \right| \right) \right]^s$$

O expoente s é um parâmetro que permite calcular a sensibilidade do erro.

Como nunca se chega a conhecer o verdadeiro valor v da variável, torna-se necessário calcular o *erro-de-observação* de outra forma. Segundo os especialistas este erro depende de múltiplos factores, de que os dois mais significativos são a *precisão do dispositivo de observação* (p_o), definida como a mais pequena variação que aquele dispositivo consegue fornecer e a *resolução do aparelho de leitura* (r_r), definida como a mais pequena variação que este aparelho consegue distinguir:

$$\text{erro - de - observação} = f(p_o, r_r)$$

O *erro-de-observação* deve ser sempre \leq *erro máximo admissível*, tendo em conta as características da variável a medir. Esta situação é conseguida através da escolha criteriosa dos dispositivos de observação e dos aparelhos de leitura.

- *Facilidade de Acesso* - Em que medida os dados são fácil e rapidamente pesquisados e obtidos no formato adequado. Tendencialmente este acesso passará a estar disponível em qualquer lugar com acesso à Internet (*cloud computing*⁴).

Ex: Encontrar os resultados e registá-los numa folha de cálculo.

- *Segurança de Acesso* - Em que medida os dados só podem ser pesquisados, alterados ou inseridos pelos utilizadores autorizados.

⁴ *Cloud computing* é uma forma de computação na qual os recursos, escaláveis dinamicamente e frequentemente virtualizados, são fornecidos como um serviço através da Internet. Os utilizadores não têm de ter qualquer conhecimento sobre a infraestrutura tecnológica no *cloud* que os suporta.

- *Completude* - Esta dimensão completude está directamente relacionada com a *operacionalização da observação*.

Em que medida não existem leituras em falta, devido à não realização de campanhas de observação consideradas necessárias, a falha humana, ao mau funcionamento dos dispositivos de observação ou dos aparelhos de leitura ou deficiência das comunicações, e os dados são os necessários e suficientes para dar uma resposta adequada ao problema em causa.

- *Volume de Dados Apropriado* - Em que medida o volume de dados disponível é o apropriado.

O volume de dados deve ser o suficiente para permitir um controlo de segurança com qualidade. É conveniente, no entanto, que se verifique alguma redundância em relação aos dados com mais relevância.

Esta dimensão tem a ver com:

- A frequência das medições e com a capacidade de alterar essa mesma frequência de acordo com necessidades várias;
- A possibilidade de interpretar apenas os dados que satisfazem determinadas condições. De notar que, como não se aceitam alterações ou interpolações aos valores dos dados, só são aceitáveis filtros que não alterem esses valores.

- **Entender o Posicionamento da Dimensão Actualidade**

Para uma melhor compreensão do que se segue, recorda-se a definição *actualidade* no contexto deste trabalho: a idade dos dados disponíveis no sistema de informação é adequada para as tarefas a realizar com eles.

Os participantes explicaram que consideraram "sistema de informação" no sentido estrito, como o sistema aplicacional suportado numa base de dados relacional, onde apenas se guarda um subconjunto dos dados de observação e onde os modelos de interpretação são implementados.

Para além disso, a posição desta dimensão é, de acordo com os especialistas, devida ao facto de que o controlo de segurança é geralmente efectuado de forma expedita e a montante do armazenamento dos dados no sistema de informação.

- Para todas as obras com leitura automática, os valores dessas leituras são imediatamente analisados para um controlo de segurança expedito. Para além disso,

e actualmente, os dados só são armazenados no sistema de informação para serem interpretados por modelos em determinados intervalos de tempo ou em situações em que algo de anormal acontece;

- Em grandes barragens de betão, o respectivo regulamento exige que haja uma pessoa responsável pela observação nas obras, que faz diariamente inspecções visuais e procede à leitura dos principais dispositivos de observação (no caso de leituras manuais). Caso detecte alguma anomalia (por exemplo, abertura de fendas numa barragem) é imediatamente desencadeada uma campanha expedita (em que apenas são lidos os dispositivos de observação mais significativos) e cujos dados devem ser imediatamente recolhidos no sistema de informação para serem interpretados por modelos e, neste caso, a actualidade é muito importante. No caso de leituras manuais, são rotineiramente realizadas campanhas completas, onde todos os dispositivos de observação são lidos e os respectivos dados armazenados no sistema de informação para serem interpretados por modelos.

Apesar do que foi afirmado, ainda se considera a posição relativa da dimensão da actualidade como um problema em aberto.

- **Dimensões da Qualidade dos Dados de Observação a Seleccionar**

Decidiu-se seleccionar as nove dimensões apresentadas no estudo Delphi, a que há a acrescentar a *preservação*.

- **Aparelhos de Leitura Manual ou Automática**

Foi unanimemente decidido que as dez dimensões seleccionadas são válidas para aparelhos de leitura manual ou automática.

As categorias e dimensões da qualidade dos dados de observação de grandes obras de engenharia civil são as apresentadas na Tabela 3.

Categorias	Dimensões
Intrínseca	Erro-de-observação, Coerência
Acessibilidade	Facilidade de Acesso, Segurança de Acesso, Preservação
Contextual	Relevância, Actualidade, Completude, Volume de Dados Apropriado
Representatividade	Interpretabilidade

Tabela 3 - Categorias e dimensões da qualidade de dados de observação de grandes obras de engenharia civil

5. Conclusões

Este trabalho teve por objectivo a identificação e definição das dimensões da qualidade relevantes para os dados relativos ao controlo da segurança de grandes obras de engenharia civil.

Através de uma aproximação multi-método [Skulmoski, Hartman e Krahn 2007] foram identificadas e definidas dez dimensões: *erro-de-observação*, *coerência*, *relevância*, *interpretabilidade*, *actualidade*, *completude*, *acessibilidade*, *volume de dados apropriado*, *segurança e preservação*. Estas dimensões, à excepção da *preservação*, foram também ordenadas pela ordem de importância que os especialistas lhes atribuíram.

De forma diversa de outros autores em ambientes de *e-Science* [Martinez, Hammer e Ranka 2008], entendeu-se não restringir o trabalho a dimensões objectivas (p.ex. erro-de-observação), cujas medidas podem ser calculadas automaticamente. Entendeu-se que algumas dimensões subjectivas (p.ex. relevância, interpretabilidade) podem, em larga medida, enriquecer a informação sobre a qualidade dos dados arquivados. Estas últimas dimensões terão de vir a ser quantificadas através de inquéritos aos especialistas do LNEC e, nalguns casos, a representantes dos donos das obras (p. ex. EDP), que são os seus fornecedores e primeiros utilizadores [Lee, Pipino, Funk e Wang 2006 pp 31-35].

O domínio analisado aborda a questão da qualidade dos dados em duas áreas ainda pouco exploradas e de grande actualidade: os dados recolhidos através de *sensores* e ambientes de *e-Science*.

Os resultados deste estudo terão grande utilidade na caracterização da qualidade dos dados das grandes obras de engenharia civil, pelo menos nas observadas pelo LNEC.

6. Limitações do Estudo

Como em qualquer outro estudo Delphi [Skulmoski, Hartman e Krahn 2007; Schmidt, Lyytinen, Keil e Cule 2001] os participantes não foram seleccionados aleatoriamente. Apesar disso, trata-se de grandes especialistas nacionais em observação de barragens de betão e de aterro e de pontes. Por outro lado, as características do método Delphi levam a que factores tais como a predisposição dos respondentes e o entendimento das definições de todas as dimensões possam ter tido influência nos resultados.

Outra limitação deste trabalho tem a ver com ter sido realizado apenas com especialistas portugueses, sendo assim difícil a generalização dos resultados obtidos a outros países. Seria, assim, interessante a replicação deste estudo noutros países ou áreas geográficas, com estes ou outros métodos de investigação julgados convenientes.

7. Trabalho Futuro

No âmbito do presente projecto de investigação desenvolver-se-ão as seguintes tarefas:

1. Identificação das unidades de avaliação para cada dimensão: uma observação, um para dispositivo de observação-aparelho de leitura, uma campanha (conjunto de observações num determinado instante de tempo), uma obra ou o sistema de informação que suporta um conjunto de obras, etc.;
2. Embora cada dimensão possa ser avaliada objectiva e subjectivamente [Pipino, Lee e Wang 2002] considera-se esta dupla avaliação impraticável no contexto deste trabalho. Desta forma as dimensões mais “objectivas” serão avaliadas objectivamente (p. ex. erro-de-observação, coerência, actualidade, completude) e as mais “subjectivas” (p. ex. relevância, interpretabilidade, acessibilidade) subjectivamente. No entanto, algumas dimensões podem vir a exigir uma dupla avaliação (p. ex. segurança de acesso);
3. Desenvolvimento ou adaptação de fórmulas de medição das dimensões objectivas e de inquéritos para quantificação das subjectivas.
4. Para algumas dimensões objectivas, tais como o erro-de-observação, a actualidade e a completude: desenvolvimento ou adaptação de modelos matemáticos para a propagação [Ballou, Wang e Tayi 1998; Klein, Do, Hackenbroich e Lehner 2007], também chamada composição [Batini e Scannapieco 2006]) (p. ex. agregação, operações algébricas e de bases de dados) das medidas de qualidade, desde a recolha das observações até aos modelos de interpretação. Pondera-se actualmente vir a utilizar os IP-MAPs [Scannapieco, Pernici e Pierce 2005; Shankaranarayan. e Wang 2007; Shankaranarayan, Wang e Ziad 2000] para representar a propagação das medidas de qualidade nas

dimensões seleccionadas, utilizando os *Quality Check Blocks* para a respectiva avaliação e propagação no sistema de informação.

De notar que, no âmbito do actual projecto, foi decidido, tal como em Klein [2007], optar por uma estratégia utilitarista e apenas melhorar a qualidade dos dados de observação, se a qualidade dos resultados da interpretação assim o exigir.

Outra linha de investigação futura prende-se com a replicação deste estudo em diferentes países ou regiões geográficas, como atrás explicitado.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ter sido realizado sem a participação de todos os especialistas que se disponibilizaram a responder aos questionários Delphi, a quem se agradece a valiosa colaboração. Um agradecimento muito especial vai para os Engenheiros António Silva Gomes, António Tavares de Castro, João Marcelino, João Pedro Santos e José Oliveira Pedro pela enorme disponibilidade demonstrada para entrevistas, troca de impressões e reunião final. A todos muito obrigado.

Por último agradece-se ao Doutor Álvaro Silva Ribeiro, Chefe do Núcleo de Qualidade Metrológica do LNEC, pelos seus preciosos ensinamentos e à Universidade do Minho que disponibilizou o software e o alojamento do nosso questionário Delphi online.

8. Referências

Ballou, D., Wang, R., Pazer, H. e Tayi, G. K., “Modeling Information Manufacturing Systems to Determine Information Product Quality”, *Management Science*, 44, 4 (1998), 462-484.

Batini, C., Scannapieco, M., *Data Quality: Concepts, Methodologies and Techniques*. Springer-Verlag, 2006.

Cloud Computing, Wikipédia http://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing, (19 de Maio de 2009, n.d.

Day, J. e Bobeva, M., “A Generic Toolkit for the Successful Management of Delphi Studies”, *The Electronic Journal of Business Research Methodology*, 3, 2 (2005), 103-116, www.ejbrm.com, (15 de Dezembro de 2008).

Even, A. e Shankaranarayanan, G., *Understanding Impartial versus Utility-Driven Quality Assessments in Large Datasets*, International Conference on Information Quality (ICIQ 2007), 2007..

- Gaynor, M. & Shankaranarayanan, G., “Implications of Sensors and Sensor-networks for Data Quality Management”, *International Journal of Information Quality*, 2, 1 (2008), 75-93.
- Gottschalk, P., Christensen, B.H. e Watson, R. T., “Key Issues in Information Systems Management Surveys: Methodological Issues and Choices in a Norwegian Context”, *Scandinavian Journal of Information Systems* 9, 2 (1997), 57-66.
- Instituto Português da Qualidade, *Vocabulário Internacional de Metrologia (ISO/IEC 99:2007 versão Portuguesa)*, <http://www.ipq.pt/backfiles/VIM.pdf>. (30 de Maio de 2009), 2008.
- Joint Committee for Guides in Metrology, *Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (JCGM 100:2008)*, <http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>, (24 de Agosto de 2009), 2008.
- Klein, A., Do, H.-H., Hackenbroich, G. e Lehner, W., Representing Data Quality for Streaming and Static Data, IEEE 23rd International Conference on Data Engineering Workshop, 2007, 3-10.
- Klein, A., *Incorporating quality aspects in sensor data streams*, First Ph.D. Workshop in CIKM, PIKM 2007, Sixteenth ACM Conference on Information and Knowledge Management, CIKM 2007, 2007, 77-84.
- Lee, Y. W., Strong, D. M., Kahn, B. K. e Wang, R. Y., (2002). “AIMQ: a methodology for information quality assessment”, *Information & Management* 40 (2002), 133–146.
- Lee, Y. W., Pipino, L. L., Funk, J. D. e Wang, R. Y., *Journey to Data Quality*. The MIT Press, 2006
- Martinez, A., Hammer, J. e Ranka, S., *BioDQ: Data Quality Estimation and Management for Genomics Databases*, Fourth International Symposium, ISBRA 2008, 2008, 469-480.
- Missier, P., Preece, A., Embury, S., Jin, B., Greenwood, M., Stead, D. e Brown, A., (2005). *Managing Information Quality in e-Science: A Case Study in Proteomics*, ER (Workshops), 2005, 423-432.
- Oliveira-Pedro, J., *Observação de Obras*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1999.
- Pipino, L. L., Lee, Y. W. e Wang, R. Y. “Data Quality Assessment”, *Communications of the ACM*, 45(4ve) (2002), 211–218.

Preece, A., Jin, B., Pignotti, E., Missier, P., Embury, S., Stead, D. and Brown, A., *Managing Information Quality in e-Science using Semantic Web Technology*, Proc 3rd European Semantic Web Conference (ESWC 2006), 2006, Volume 4011, 472-486.

Redman, T. C., *Data Quality for the Information Age*. Artech House, 1996.

Santos, L. D., *Factores Determinantes do Sucesso de Adopção e Difusão de Serviços de Informação Online em Sistemas de Gestão de Ciência e Tecnologia*, Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, 2004.

Scannapieco, M. e Catarci, T., "Data Quality under the Computer Science Perspective", *Journal of Archivi & Computer*, 2 (2002).

Scannapieco, M., Pernici, B. e Pierce, E. M., "IP-UML: A Methodology for Quality Improvement based on IP-MAP and UML", in R. Y. Wang, E. M. Pierce, S. E. Madnick and C. W. Fisher (Eds.), *Advances in Management Information Systems*, Vladimir Zwass Series Editor, 2005.

Schmidt, R.C., "Managing Delphi Surveys Using Nonparametric Statistical Techniques", *Decision Sciences*, 28, 3 (2002), 763-774.

Schmidt, R., Lyytinen, K., Keil, M. e Cule, P., "Identifying Software Project Risks: An International Delphi Study", *Journal of Management Information Systems*, 17, 4 (2001), 5-36.

Shankaranarayan, G. e Wang, R. Y., *IPMAP: Current State and Perspectives*, Proc. 12th International Conference on Information Quality (IQ 2007), 2007.

Shankaranarayan, G., Wang, R. Y. e Ziad, M., *Modeling the Manufacture of an Information Product with IP-MAP*, Proc. 5th International Conference on Information Quality (IQ 2000), 2000.

Skulmoski, G. J., Hartman, F. T. e Krahn, J., "The Delphi Method for Graduate Research", *Journal of Information Technology Education*, 6 (2007), 1-21, jite.org/documents/Vol6/JITEv6p001-021Skulmoski212.pdf, (18 de Maio de 2009).

Wallis, J. C., Borgman, C. L., Mayernik, M. S., Pepe, A., Ramanathan, N. E Hansen, M. (2007). Know Thy Sensor: Trust, Data Quality, and Data Integrity in Scientific Digital Libraries, in the *Proceedings of the 11th European Conference on Research and Advanced Technology for Digital Libraries*, Budapest, Hungary.

Wand, Y. e Wang, R. Y., "Anchoring Data Quality Dimensions in Ontological Foundations", *Communications of the ACM* 39, 11(1996), 86-95.

Wang, R. W., Lee, Y. W., Pipino, L. L., Strong, D. M., “Manage Your Information as a Product”, *Sloan Management Review*, 39, 4 (1998), 95-105.

Wang, R.Y. e Strong, D.M., “Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers”, *Journal of Management Information Systems*, 12, 4 (1996), 5-34.

Wang, R.Y., “A Product Perspective on Total Data Quality Management”, *Communications of the ACM*, 41, 2 (1998), 58-65.

Yount, R., *Developing Scales*,

www.napce.org/articles/Research%20Design%20Yount/12_scales_4th.pdf , (20 de Maio de 2009), 2006.

Yousuf, M. I., “Using Experts’ Opinions Through Delphi Technique”, *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 12, 4 (2007), <http://www.pareonline.net/getvn.asp?v=12&n=4>, (16 de Dezembro de 2008).