

## CLASSIFICAÇÃO DE ATIVIDADES DE SEGURANÇA DE BARRAGENS QUANTO ÀS TAXONOMIAS DE REALIDADE AUMENTADA

Fabiana F. F. Peres<sup>1,2,4\*</sup>, Sérgio Scheer<sup>2</sup>, Étore F. de Faria<sup>3,4</sup>, Claudio R. M. Mauricio<sup>1,4</sup> e Adriano da Silva<sup>4</sup>

1: Centro de Engenharias e Ciências Exatas - Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Av. Tarquínio Joslin dos Santos, 1300 85870-650 - Foz do Iguaçu - PR - Brasil  
e-mail: ffrata@gmail.com

2: Programa de Pós Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia -  
Universidade Federal do Paraná  
Jardim das Américas C.P.19011 81531-980 - Curitiba - PR - Brasil  
e-mail: scheer@ufpr.br

3: Usina Hidrelétrica de Itaipu  
Av. Tancredo Neves, 6.731 85856-970 - Foz do Iguaçu - PR - Brasil  
e-mail: etore@itaipu.gov.br

4: FPTI - Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens  
Av. Tancredo Neves, 6731, C.P.2039 85.867-900 - Foz do Iguaçu - PR - Brasil  
e-mail: adriano.silva@pti.org.br

**Palavras chave:** Segurança em Barragens, Realidade Aumentada, Taxonomia

**Resumo.** *Barragens são estruturas com risco de ocorrência de colapso associado. Para mantê-las numa condição de segurança é necessário que sejam desempenhadas atividades de monitoramento e de manutenções. Estas atividades são realizadas com certa periodicidade, demandando acesso a manuais e dados a respeito de projetos, leituras e procedimentos realizados. Desde a década de 90, quando teve início o uso de sistemas de aquisição automática de dados, até os dias atuais, tem-se buscado o apoio de sistemas de gerenciamento de informação para auxiliar nas atividades. O acesso aos dados e às informações a respeito das atividades no local de execução das tarefas os tornam mais precisos e eficientes e para isso, técnicas avançadas de visualização, como a realidade aumentada, podem ser utilizadas. A consciência de contexto é outro aliado que ajuda a selecionar as informações necessárias. Desde o surgimento da tecnologia de realidade aumentada, diversos trabalhos apresentam taxonomias que permitem classificar as aplicações. Este artigo visa apresentar uma reflexão sobre as atividades desenvolvidas para manter a segurança de barragens e suas características a fim de classificá-las com relação às taxonomias de realidade aumentada.*

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a concepção dos computadores até os dias atuais, há uma busca constante por interfaces computacionais elaboradas para facilitar o acesso a conteúdos digitais. A realidade aumentada é considerada uma técnica avançada de visualização já que combina conteúdo virtual (dados, informações, imagens digitais) com conteúdo real (coordenada geográfica, objetos reais, marcadores, etc). Esta combinação permite uma experiência única de interação humano-computador e de visualização. Com o amadurecimento da tecnologia de realidade aumentada, as suas aplicações estão se tornando cada vez mais populares [1]. Na área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) e Gerenciamento de Edificações - *Facility Management* (FM) a tecnologia de realidade aumentada vem sendo amplamente utilizada. Uma revisão detalhada do uso da realidade aumentada na área de AEC/FM pode ser encontrada em [1, 2, 3, 4]. Apesar do uso da realidade aumentada na área de AEC/FM estar concentrada nas fases de projeto e construção do ciclo de vida de uma edificação, a fase de operação e manutenção apresenta um campo promissor para o uso deste tipo de sistema.

Uma barragem é um tipo de construção civil com vistas a diversos benefícios: como produção de energia elétrica e abastecimento de água [5]. Entretanto é importante ressaltar que compreende de uma estrutura geralmente associada a um potencial de risco. Após a sua construção, na fase operacional, a realização de atividades de monitoramento e manutenções periódicas são necessárias para mantê-la segura e também para aumentar seu tempo de vida. As atividades para manter a segurança de uma barragem juntamente com a instrumentação instalada nas estruturas geram um grande volume de dados e informações que são importantes para realizar análises. O acesso aos dados e às informações a respeito das atividades no local de execução das tarefas as torna mais precisas e eficientes. As técnicas avançadas de visualização, como a realidade aumentada, podem ser utilizadas para permitir o acesso a estes dados e informações no local de execução das tarefas que aliado a consciência de contexto seleciona as informações necessárias.

Desde o surgimento da tecnologia de realidade aumentada, diversos trabalhos apresentam taxonomias que permitem classificar as aplicações [6, 7, 8, 9, 10, 11].

O desenvolvimento de ambientes computacionais de realidade aumentada, minimizam possíveis dificuldades em executar trabalhos, enfatiza a visualização em conjunto com a interação, permitindo assim, o incremento da percepção do usuário no uso de uma interface de computador para tornar a execução de uma tarefa mais eficiente e satisfatória. Neste contexto este trabalho tem por objetivo identificar e classificar as atividades desenvolvidas para segurança de barragens sob a ótica da classificação feita por Azuma [7], por Dubois e Nigay [9] e por Tönnis [10].

## 2 REALIDADE AUMENTADA

Apesar da base da realidade aumentada ter surgido na década de 50 com os trabalhos de Ivan Sutherland, somente na década de 90 surgiram definições para caracterizá-la

[12]. Atualmente é possível encontrar na literatura diversas definições sobre realidade aumentada. De acordo com Azuma [6] realidade aumentada é uma variação da realidade virtual. Ela suplementa o ambiente real dando a sensação que os objetos virtuais e os reais coexistem no mesmo espaço. Além de combinar o mundo real com objetos do mundo virtual, um sistema de realidade aumentada segundo [7] é interativo em tempo real e acomoda os objetos virtuais no ambiente real.

Milgram [8] afirma que embora os ambientes puramente virtuais e os ambientes puramente reais existam como entidades separadas, eles devem ser considerados como pólos em extremidades opostas dentro do contínuo Realidade-Virtualidade conforme mostra a figura 1. Assim a realidade misturada pode ser entendida como um ambiente onde objetos virtuais e reais coexistem em proporções diversas.

A realidade aumentada no contexto de realidade misturada é definida como um seguimento definido do contínuo Realidade-Virtualidade onde o ambiente predominante é o real. Quando o ambiente predominante é o virtual, chamamos de virtualidade aumentada. A figura 1 evidencia o seguimento da realidade aumentada e da virtualidade aumentada.

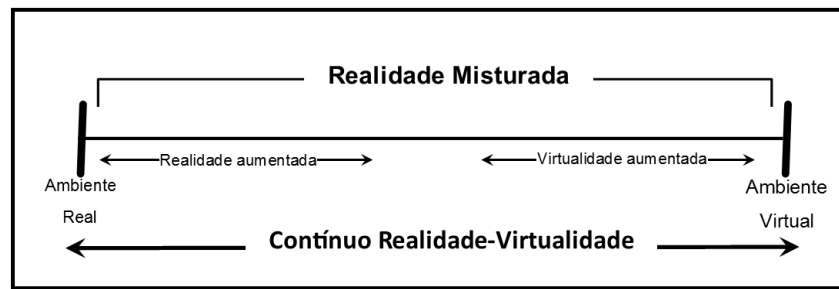


Figura 1: Contínuo Realidade-Virtualidade.

## 2.1 Taxonomias de Realidade Aumentada

Azuma [7] classificou os tipos de displays utilizados nos sistemas de realidade aumentada em *Head Worn Display* (HWD), *Hand Held Display* (HHD) e *Projection Display* (PD). As figuras 2, 3 e 4 mostram exemplos de sistemas fazendo uso destes displays na respectiva ordem.

Os *Head Worn Display* são montados na cabeça e podem ser do tipo *optical see-through* (ost) ou *video see-through* (vst) [7]. Os *Head Worn Display* do tipo *optical see-through* compreendem de sistemas cujo objetos virtuais são sobrepostos no ambiente real através de um display transparente. Já os *Head Worn Display* do tipo *video see-through* capturam o ambiente real através da câmera de vídeo para ser usado como o fundo para sobreposição de objetos virtuais. Os *Hand Held Display* consistem em displays de mão, contidos em dispositivos como *smartphones*, *tablets* que possuem câmera acoplada. Estes displays proporcionam um aumento da realidade do tipo *video see-through*. Por fim, os *Projection Display* projetam informações virtuais diretamente sobre os objetos do mundo físico os

aumentando. A figura 5 apresenta as combinações entre as categorias de dispositivos utilizados e a forma como o aumento acontece definidas por Azuma.



Figura 2: Aplicação de realidade aumentada usando *Head Worn* display [13].



Figura 3: Aplicação de realidade aumentada usando *Hand Held* display [14].

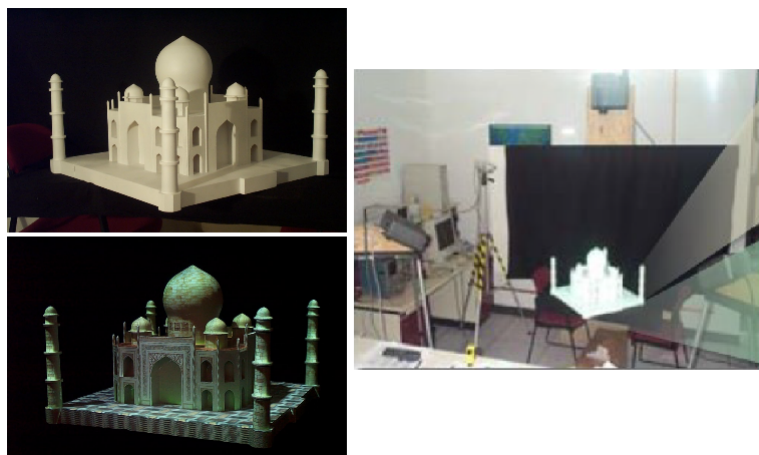


Figura 4: Aplicação de realidade aumentada usando *Projective* display [15].

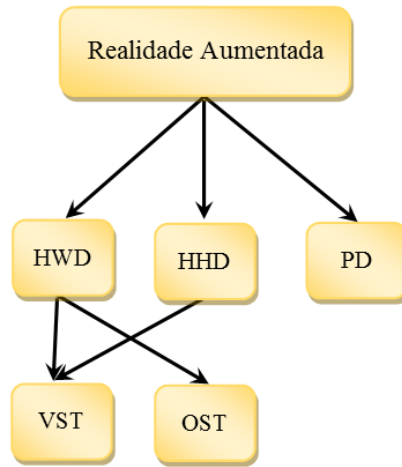


Figura 5: Classificação de Azuma quanto aos tipos de displays utilizados.

Dubois e Nigay [9] definem quatro classes de sistemas de realidade aumentada baseados em dimensões quanto ao foco da tarefa e a natureza do aumento. O Foco da Tarefa (FT) diz respeito a que tipo de objeto o usuário manipula ou modifica durante a execução do aplicativo de realidade aumentada. Se o objeto manipulado ou modificado é virtual, o foco da tarefa é virtual (v). Por outro lado, se o objeto manipulado ou modificado é do mundo real, então o foco da tarefa é real (r). A Natureza do Aumento (NA) diz respeito a forma como o aumento será utilizado pelo usuário. Ele pode auxiliar o usuário na execução de uma tarefa, neste caso a natureza do aumento é execução (e) ou então pode melhorar a percepção do usuário, e desta forma a natureza do aumento é classificado como avaliação (a)[9].

Tönnis [10] propôs uma taxonomia de como a informação virtual pode ser representada através da definição de dimensões para a representação das informações que coexistem com a realidade física [10].

Através de uma investigação analítica de aplicações existentes definiu-se cinco dimensões ortogonais que abordam a representação da informação para realidade aumentada: *Temporalidade* (T), *Dimensionalidade* (D), *Quadro de Referência para Visualização* (QRV), *Montagem/Registro* (M/R) e *Tipo de Referência* (TR)[10].

A dimensão *Temporalidade* classifica a informação virtual apresentada quanto ao seu tempo de permanência na aplicação. A informação apresentada pode ser *contínua* (c) ou *discreta* (d).

A *Dimensionalidade* refere-se ao número de dimensões da informação apresentada. Quando a informação é textual, temos a dimensão *2D*, já quando a informação trata de objetos virtuais, a dimensão é *3D*.

*Quadro de Referência para Visualização* diz respeito ao quadro de referência no qual a informação é representada em relação ao ponto de vista do sistema de geração da imagem e do usuário. Pode ser *ego-centric* (ec), ou seja, usuário e cenário físico possuem o mesmo

ponto de vista, *exo-centric* (ex), neste caso o ponto de vista do usuário e da câmera são diferentes e independentes e por fim, *ego-motion* (em) onde o ponto de vista do usuário e da câmera virtual são diferentes mas relacionada ao usuário.

A dimensão *Montagem e Registro* estabelece o relacionamento espacial entre os objetos virtuais e reais. Se o conteúdo virtual for apresentado em uma parte do corpo humano, a relação é chamada *humana* (h), se estiver em algum objeto do ambiente real, de *ambiente* (a), se depender de um sistema de coordenadas do mundo, *mundo* ou então *múltiplas montagens* (mm) se fizer a combinação das anteriores.

Por fim a dimensão *Tipo de Referência* analisa o nível de relação de um objeto virtual com um objeto ou localização física. Esta relação depende do nível de visibilidade dos objetos físicos que podem estar visíveis, oclusos ou fora do campo de visão do usuário. Quando o objeto físico está visível a referência é *direta* (d). Em caso de oclusão do objeto físico, a referência é *indireta* (i). Por fim, quando o objeto físico não está no campo de visão do usuário a referência é *pura* (p).

### 3 SEGURANÇA EM BARRAGENS

Barragem de acordo com o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens [16] é definida como “uma estrutura construída transversalmente a um rio ou talvegue com a finalidade de obter a elevação do seu nível d’água e/ou criar um reservatório de acumulação de água [...]”.

As barragens se apresentam como um importante recurso para o desenvolvimento da sociedade humana há muitos anos. Elas podem gerar muitos benefícios como produção de energia elétrica e abastecimento de água [5]. Entretanto é importante ressaltar que compreende de uma estrutura geralmente associada a um elevado potencial de risco pela possibilidade de ocorrência de um colapso provocado por diversos fatores, como pelos efeitos de operações erradas, mau funcionamento e envelhecimento sem a devida manutenção. Com base nos riscos oferecidos fica evidente a importância da realização de atividades relacionadas a segurança de barragens para preservar as estruturas e aumentar o tempo de vida em operação.

Segundo Balbi [17] “A segurança de barragens consiste na adoção de uma rotina eficaz de monitoramento, num plano de manutenção adequado e na prontidão para situações de emergência”.

Já no Boletim 118 do ICOLD [18] é colocado que “A segurança de uma barragem [...] depende não somente da qualidade do projeto e de sua construção, mas também de uma perfeita manutenção durante a operação assim como de uma eficiente auscultação para controlar o comportamento da barragem”. Por sua vez, auscultação de uma barragem pode ser definida como a avaliação do comportamento, da segurança e das condições de funcionamento da barragem e do reservatório. Ela compreende de atividades de medições, inspeções visuais, verificação e ensaio dos equipamentos de operação .

A seguir serão discutidas as atividades relacionadas com a segurança de barragens.

### 3.1 Atividades de Segurança em Barragens

Segurança de barragens envolve um conjunto de ações técnicas, sistêmicas e periódicas que constituem a observação e a manutenção visando manter as características de projeto com foco na eficiência do empreendimento e permitir uma atuação responsável no que tange aos impactos sócio-econômico-ambientais.

Desta forma, podemos colocar que as principais atividades de segurança de barragens se referem a auscultação e a manutenção. A auscultação de barragens é feita através de medições e inspeções visuais. As medições podem obtidas por levantamentos de campo, por instrumentos instalados nas estruturas ou por ensaios em laboratório. Já as inspeções servem para detectar eventuais deteriorações e recomendar ações remediáveis como obras de reparo ou de manutenção. A tabela 1 coloca de forma resumida as atividades para segurança de barragens.

Atividades	Características
Medições	Obtenção de valores por levantamento de campo, instrumentos ou ensaios. Necessidade de entrada de dados. É importante ter acesso a dados históricos, gráficos sobre o comportamento; pode ser realizado em locais de difícil acesso e com pouca iluminação.
Inspeções	Ação de olhar, examinar, verificar com objetivo de detectar problemas. Importante destacar durante a inspeção, pontos ou eventos ocorridos no local para que possa ser dada a devida atenção ao evento.
Manutenções	Atividade reparadora, destinada a conservar as características de projeto. Necessidade de acesso a projetos e dados técnicos sobre a manutenção; instruções de como realizar a manutenção

Tabela 1: Atividades para segurança de barragens.

## 4 REALIDADE AUMENTADA X SEGURANÇA DE BARRAGENS

Considerando as atividades principais e necessárias para a realização da segurança de barragens, conforme listadas na tabela 1, a seguir é apresentado a classificação de cada atividade dentro das taxonomias de realidade aumentada descritas na subseção 2.1.

Considerando a classificação de Azuma [7], para as atividades de medições, de acordo com os requisitos apresentados, é recomendado o uso de *Hand Held Displays* por *video see through* já que há necessidade de entrada de dados e ainda é importante que se tenha acesso a análise de dados históricos.

Para o desenvolvimento das atividades de inspeções, dentro do contexto de barragens

levando em conta os requisitos apresentados, é sugerido o uso de *Head Worn Displays* do tipo *optical see through*. A justificativa para tal é que neste tipo de atividade é interessante que o inspetor possa visualizar o mundo real ao mesmo tempo que visualiza as informações digitais, resultantes de marcações de inspeções anteriores.

As atividades de manutenções, não apresentam nenhum ponto negativo com respeito a qualquer uma das classificações, porém dependendo do grau de apoio fornecido pelo sistema de realidade aumentada um tipo de display se torna mais adequado do que outro. A tabela 2 apresenta de forma resumida a classificação das atividades de segurança de barragens segundo a classificação de Azuma [7].

	Azuma			
	HWD		HHD	PD
	vst	ost		
Medição			✓	
Inspeção		✓		
Manutenção	✓	✓	✓	✓

Tabela 2: Classificação das atividades de segurança de barragens de acordo com Azuma [7].

Considerando a classificação de Dubois e Nigay [9] que define quatro classes de sistemas de realidade aumentada baseados em dimensões quanto ao foco da tarefa e a natureza do aumento, todas as atividades para segurança de barragens descritas se enquadram como atividades cujo foco da tarefa está no objeto do mundo real. Já com relação a natureza do aumento, a atividade de medição e manutenção são classificadas como de execução e a inspeção é classificada como de avaliação. A tabela 3 apresenta de forma resumida a classificação das atividades de segurança de barragens segundo a abordagem de Dubois e Nigay [9].

	Dubois e Nigay			
	FT		NA	
	v	r	e	a
Medição		✓	✓	
Inspeção		✓		✓
Manutenção		✓	✓	

Tabela 3: Classificação das atividades de segurança de barragens segundo a abordagem de Dubois e Nigay [9].

Por último, a taxonomia de Tönnis [10] que propôs uma taxonomia de como a informação



pode ser representada através da definição de dimensões para a representação das informações que coexistem com a realidade física, com cinco dimensões ortogonais: *temporalidade*, *dimensionalidade*, *quadro de referência para visualização*, *montagem/registro* e *tipo de referência* classifica as atividades de inspeção conforme segue.

Quanto as atividades de medições e de inspeções, a *temporalidade* é *discreta* visto que a informação virtual na aplicação não permanece durante todo o tempo; a *dimensionalidade* pode ser *2D* já que a informação virtual compreende, neste caso, de dados históricos e gráficos; o *quadro de referência para visualização* é *ego-centrico*, a dimensão *montagem/registro* pode ser *mundo* ou então *múltiplas montagens* e por fim a dimensão *tipo de referência* pode ser *pura* ou *direta*.

Por fim, as atividades de manutenções a *temporalidade* é *discreta*; a *dimensionalidade* é *3D* ou *2D* já que a informação virtual pode ser tanto textos explicando o procedimento ou animações; o *quadro de referência para visualização* é *ego-centrico*, a dimensão *montagem/registro* deve ser *mundo* ou *múltiplas montagens* e a dimensão *tipo de referência* é *direta* ou *pura*. A tabela 4 apresenta de forma resumida a classificação das atividades de segurança de barragens segundo a abordagem de Tönnis [10].

	Tönnis													
	T		D		QRV			M/R				TR		
	d	c	2D	3D	ec	ex	em	h	a	m	mm	d	i	p
Medição	✓		✓		✓					✓	✓	✓		✓
Inspeção				✓	✓									
Manutenção	✓		✓	✓	✓					✓	✓	✓		✓

Tabela 4: Classificação das atividades de segurança de barragens segundo a abordagem de Tönnis [10].

## 5 CONCLUSÕES

Devido a importância das atividades relacionadas com a segurança de barragens é relevante que haja uma preocupação constante em aprimorar o processo de como elas são executadas. As aplicações de realidade aumentada vem proporcionando na área de AEC/FM diversos benefícios como redução de dificuldades em executar trabalhos, incrementando a percepção do usuário tornando assim a execução de uma tarefa mais eficiente e satisfatória. Assim é necessário que seja pensado e discutido o uso desta tecnologia neste contexto. O desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada voltada para a segurança de barragens permitirá o acesso aos dados e instruções sobre as operações e relatórios em campo.

A classificação das atividades de segurança de barragens dentro das taxonomias de realidade aumentada estabelece uma direção para que aplicações possam ser desenvolvidas e

utilizadas no contexto. Para uma validação das classificações apresentadas, é importante o desenvolvimento, de protótipos e avaliações do seu uso.

## REFERÊNCIAS

- [1] CHI, H.-L. and KANG, S.-C. and WANG, X., *Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction*, Automation in Construction, Vol. **33**, pp. 116 – 122, (2013).
- [2] RANKOHI, S. and WAUGH, L., *Review and analysis of augmented reality literature for construction industry*, Visualization in Engineering, Springer International Publishing, Vol.I, n. 1, pp. 1–18, (2013).
- [3] WANG, X. et al., *Augmented reality in built environment: Classification and implications for future research*, Automation in Construction, Vol. **32**, pp. 1 – 13, (2013).
- [4] WANG, X., *Augmented reality in Architecture and Design: Potentials and Challenges for Application*, International Journal of Architectural Computing, Vol. **7**, pp. 309 – 326, (2009).
- [5] ITAIPU, *Curso de Segurança em Barragens: Unidade 1: Aspectos gerais da segurança de barragens*, Foz do Iguaçu: (2011).
- [6] AZUMA, R., *A survey of augmented reality, Teleoperators and Virtual Environments*, 1997, Vol. **6**, n. 4, pp. 355–385, (1997).
- [7] AZUMA, R. et al., *Recent advances in augmented reality*, IEEE Comput. Graph. Appl., IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, Vol. **21**, n. 6, pp. 34–47, (2001).
- [8] MILGRAM, P. and JR., H. C. A., *taxonomy of real and virtual world display integration*, International Symposium on Mixed Reality, 1999, pp. 1–16, (1999).
- [9] DUBOIS, E. and NIGAY, L., *Augmented reality: Which augmentation for which reality?*, In: *Proceedings of DARE 2000 on Designing Augmented Reality Environments, 2000*, pp. 165–166, New York, NY, USA: ACM, (2000).
- [10] TÖNNIS, M. and PLECHER, D. A. and KLINKER, G., *Representing information – classifying the augmented reality presentation space*, Computers Graphics, Vol. **37**, n. 8, pp. 997 –1011, (2013).
- [11] KALAWSKY, R. S. and STEDMON A. W., *A Taxonomy of Technology: Defining Augmented Reality*, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, Vol. **44** , no. 5, pp. 507-510, (July 2000).

- [12] KIRNER, C. and KIRNER, T. G., *Evolução das Tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada, XIII symposium on virtual and augmented reality, 2011*, Uberlândia, MG: Editora SBC, (2011).
- [13] STRICKER, D. and PETERSEN, N., *Intelligent Augmented Reality Handbooks*, Disponível em: <http://av.dfki.de/en/ar-handbook/Intelligent-Augmented-Reality-Handbooks>, Acessado em: março, 2015.
- [14] MEŽA, S. and TURK ?iga and DOLENC, M., *Component based engineering of a mobile bim-based augmented reality system*, Automation in Construction, Vol. **42**, pp. 1 –12, (2014).
- [15] RASKAR, R. et al., *Shader lamps: Animating real objects with image-based illumination*, In: *Proceedings of the 12th Eurographics Workshop on Rendering Techniques, 2001*, London, UK, UK: Springer-Verlag, pp. 89–102.(2001).
- [16] BRASIL, *Manual de Segurança e Inspeção de Barragens*, Brasília, (2002).
- [17] BALBI, D. A. F., *Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens*, Estudo de Caso: Barragens de PETI - MG, (2008).
- [18] ICOLD, *Bulletin 118 : Automated dam monitoring systems*, Paris, (2000).