

## ANÁLISE GRÁFICA ARQUITETÔNICA MEDIADA POR REALIDADE AUMENTADA

### *ARCHITECTURAL GRAPHIC ANALYSIS MEDIATED BY AUGUMENTED REALITY*

**Cinthy Colige Cardoso<sup>1</sup>**

**Ruth Ferreira da Silva<sup>2</sup>**

**Daniel de Carvalho Moreira<sup>3</sup>**

#### **Resumo**

É papel fundamental dos arquitetos compreender a sociedade e sua época e refleti-las em projetos. A prática projetual requer o desenvolvimento de um amplo repertório arquitetônico – um exercício constante que demanda a compreensão das mais diversas representações arquitetônicas. Dentre as diversas formas de análise de projeto pode-se destacar a análise gráfica, método que possibilita apreender e interpretar questões técnicas, históricas e estéticas de edifícios. No campo da análise gráfica, autores como Clark e Pause, Simon Unwin, Francis Ching e Geoffrey Baker, apresentados neste artigo, são consagrados na literatura pela proposição de princípios de análise gráfica abrangentes. Até o século XX as representações arquitetônicas eram majoritariamente feitas através de desenhos no plano do papel. Contudo, o surgimento de novas tecnologias possibilitou novas formas de representar, interpretar e veicular análises, permitindo assim uma melhor compreensão dos edifícios. Diante da necessidade de se acompanhar estes avanços, este trabalho investiga o uso da Realidade Aumentada enquanto ferramenta de suporte de análise 3D de dois edifícios históricos: o Panteão romano e a Basílica de Santa Sofia.

**Palavras-chave:** arquitetura; análise gráfica; desenho arquitetônico; realidade aumentada.

#### **Abstract**

It is a fundamental role of architects to understand a society and their time, as well as reflect them in projects. The practice requires the development of a broad architectural repertoire – a constant exercise that demands an understanding of the most diverse architectural representations. Among different ways to analyze a project it's possible to detach the graphical analysis that allows to grasp and interpret buildings' technical, historical, and aesthetic issues. In the field of graphical analysis, authors such as Clark and Pause, Simon Unwin, Francis Ching, and Geoffrey Baker, presented in this paper, stand out in the literature due to their comprehensive graphical analysis principles. Until the twentieth century, architectural representations were mostly made through drawings on paper plane. However, the advent of new technologies enabled the emergence of new ways to represent, interpret, and convey analysis, thus allowing a better understanding of the buildings. Given the need to follow these technological advances, this paper investigates the use of Augmented Reality as a support tool for three-dimensional graphical analysis of two historical buildings: the Roman Pantheon and the Hagia Sophia.

**Keywords:** architecture; design; architectural drawings; augmented reality.

---

<sup>1</sup> Mestra em Tecnologia aplicada à Arquitetura, UNICAMP - FEC, cinthyacolige@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8400-5981.

<sup>2</sup> Graduada em Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP - FEC, ruthsilva2019@gmail.com.

<sup>3</sup> Professor Doutor, PG em Tecnologia em Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP - FEC, damore@fec.unicamp.br; ORCID: 0000-0002-7219-4006.

## 1. Introdução

A representação do edifício arquitetônico é de suma importância para a compreensão de uma sociedade ou de uma época e vem sendo pauta de discussão entre arquitetos desde o século XIX. Partindo desta modalidade de representação é possível interpretar fatos históricos, sociais, intelectuais, técnicos, estéticos e até mesmo figurativos. A compreensão dessa forma de representação é um exercício constante de repertório e que nos últimos anos tem se desenvolvido de modo diferenciado graças ao desenvolvimento tecnológico e às novas formas de representação, que extrapolam o plano do papel, já tão consagrado no que diz respeito à representação gráfica.

Desde a época da popularização da imprensa até a disseminação da cultura digital, os impressos eram os principais vetores de comunicação, porém com a cultura digital os dados e informações começaram a ser transmitidos de uma nova forma, apresentando assim, novas maneiras de visualizar o mesmo edifício antes impresso de forma permanente em papel (CARPO, 2001). Nesse aspecto é possível destacar trabalhos que são desenvolvidos com o auxílio tanto da Realidade Virtual quanto da Realidade Aumentada.

A comunicação do arquiteto ocorre principalmente por meio de imagens, croquis, volumes, linhas e cortes e nem por isso é algo menor, mas sim caminha junto aos textos. Os arquitetos modernos, por exemplo, utilizaram muito o poder da comunicação com a finalidade de criar um vocabulário novo e mudar o modo de falar sobre a arquitetura (RUBINO E GRINOVER, 2009).

Durante o modernismo os arquitetos começaram a representar diferentes desenhos partindo de conceitos abstratos e amparados pela geometria e desenho clássico, inaugurando assim o que hoje é chamado de representações através de diagramas (FANTINATO, 2018).

A criatividade, juntamente com a capacidade de produção estão diretamente ligadas à percepção e pensamento do homem e as ferramentas disponíveis (VELOSO, 2011 apud SILVA e VIZIOLI, 2013), assim como as formas de desenhar e pensar estão diretamente ligadas a um estilo e à uma época (HEWITT, 1985).

## 2. A Compreensão da Arquitetura

Segundo Zevi (2009) a maneira na qual a arquitetura é difundida, assim como os estudos referentes à análise arquitetônica devem ser repensados e debatidos. As formas de representação já consagradas (planta, corte e elevação) permitem compreender as principais características arquitetônicas. Tais usos e respectivas representações podem ser observadas a seguir:

- **Planta:** forma de representação abstrata passível de receber diversas camadas de informações, podendo representar tanto o interior, quanto o exterior, porém não consegue representar a dimensão volumétrica dos espaços.
- **Fachada:** é uma vista ortográfica seccional de duas ou até três dimensões que podem ser representadas através da hierarquia de linhas, permite também a representação dos materiais empregados e, quando empregada a sombra, pode trazer informações em uma terceira dimensão, porém também não permite a compreensão de uma obra como um todo.

- **Corte:** é uma vista ortográfica seccional na qual se representam as divisões internas do espaço arquitetônico a partir de um ou mais planos de secção. Permite a compreensão dos espaços, hierarquias e seus usos. Permite uma compreensão volumétrica, mas ainda não da totalidade do edifício.
- **Fotografia:** consegue representar três dimensões e dar uma noção de escala, porém não representa a essência espacial ou conceitos empregados e por sempre ser tirada a partir de um único ângulo, não consegue apresentar o conjunto completo da edificação.

### 3. Objetivo

O presente artigo possui três objetivos, sendo o principal o de viabilizar através da Realidade Aumentada a análise e compreensão do edifício arquitetônico e seus conceitos formadores do espaço. Já como objetivos secundários pode-se considerar o de fazer uma revisão bibliográfica da literatura de autores que abordam a análise gráfica como um dos principais recursos para compreensão de uma edificação e o de abordar a Realidade Aumentada como recurso de representação arquitetônica.

### 2. Revisão da Literatura - Análise Gráfica

A compreensão do desenho, seja ele técnico ou o mais simples esboço, realizado de forma analítica e visando identificar princípios formais e funcionais de uma obra arquitetônica pode ser chamado de análise gráfica. Ching (2007) defende a análise como uma maneira harmoniosa de traduzir o todo complexo e unificado que compreende uma obra.

A análise gráfica tem como objetivo simplificar e sistematizar princípios através de gráficos ou diagramas, destacando assim diversas propriedades arquitetônicas que podem ser, por exemplo, quanto à geometria, volume ou organização. Além dos diagramas pode-se elaborar desenhos esquemáticos ou sintéticos, desde que expressem um conjunto específico de propriedades arquitetônicas.

Segundo Unwin (2013), é de suma importância a criação de um repertório arquitetônico através da compreensão de conceitos, elementos de composição, dentre outros, pois a riqueza da arquitetura está justamente em visualizar e entender os detalhes.

No presente artigo serão apresentados 4 dos principais autores de análise gráfica, que possuem publicações já bem difundidas e são eles: Clark e Pause, Simon Unwin, Francis Ching e Geoffrey H. Baker.

#### 2.1. Design Strategies in Architecture – an Approach to the Analysis Of Form – Geoffrey Baker

Baker (c1996) leva em consideração forma, cultura e o contexto no qual a edificação está inserida para realizar suas análises. O autor faz suas análises a partir tanto de desenhos 2D, como plantas e cortes, quanto de perspectivas. Os princípios, muitas vezes simbólicos, de análise apresentados por Baker (1996c) podem ser observados no Quadro 1.

Para cada análise de edificação o autor propõe identificar todos esses princípios de análise, porém nem todos os temas se enquadram em todos os edifícios propostos para análise, além de, algumas vezes, ser necessário recorrer aos esboços iniciais do arquiteto para

compreender que algum elemento foi determinante para uma tomada de decisão projetual. Assim sendo, além de apresentar alguns conceitos arquitetônicos, Baker (c1996) apresenta também alguns aspectos formais da arquitetura, como pode ser visto no Quadro 2.

**Quadro 1: conceitos abordados por Baker**

TEMA	CONCEITO
<b>Forças do lugar</b>	considera questões de topografia e paisagismo, transferindo um caráter próprio a cada lugar
<b>Genius Loci</b>	considera questões culturais e ambientais, propiciando a sensação de pertencimento ao usuário do espaço
<b>Natureza</b>	defende a natureza como fonte de energia para apreciar a arte e identificar sua origem
<b>Arte</b>	considera a arte como mediadora entre homem e natureza, sendo assim a base para a evolução e desenvolvimento
<b>Arte como símbolo</b>	considera a arte como forma de manifestação dos sentimentos humanos
<b>Poesia</b>	considerada uma forma de apropriação poética da terra
<b>Significado de uso</b>	considera a arquitetura uma forma de resposta às necessidades do homem
<b>Arquitetura primitiva</b>	considera a forma básica da necessidade e conhecimento técnico de morar
<b>Arquitetura vernacular</b>	compreende a arquitetura que se desenvolve de acordo com as condições do lugar como economia e cultura
<b>Arquitetura monumental</b>	compreende a arquitetura que visa deslumbrar e tem um alto teor simbólico
<b>Arte superior</b>	considera edificações que transmitem teoria através de sua forma própria
<b>Cultura</b>	considera a educação e informação de um determinado grupo e em como tais conceitos se manifestam na arquitetura
<b>Status</b>	considera a arquitetura como uma forma de identificar e estratificar a população
<b>Programa e lugar</b>	considera a arquitetura como resultado de forças tanto internas quanto externas
<b>Orientação e identidade</b>	considera a mobilidade como potencial força e conseqüente definição dos espaços
<b>Movimento</b>	Essencial para a criação de percursos através da arquitetura, compreendendo pontes, rampas, escadas, elevadores etc
<b>Vistas</b>	é a força resultante do movimento através da arquitetura e que propicia uma visualização de um determinado elemento ou paisagem
<b>Estrutura</b>	considera a estrutura para além da finalidade estrutural, como meio de

	expressão de uma cultura ou estilo
<b>Geometria</b>	considera composições matemáticas entre os elementos que compõem a arquitetura

Fonte: dos autores com base em Baker (c1996)

**Quadro 2: Aspectos formais apresentados por Baker**

TEMA	CONCEITO
<b>Tensão e harmonia</b>	considera a energia que o arquiteto quer passar a quem vivencia o espaço. Isso pode ser obtido através de ritmo, unidade ou simetria.
<b>Permanência e harmonia</b>	considera os aspectos simbólicos da arquitetura e utiliza recursos como simetria e centralidade.
<b>Harmonia através da geometria</b>	considera a organização geométrica dos volumes e espaços criados através de linhas, superfícies, ritmo e harmonia.
<b>Design geométrico</b>	considera a geometria como norteadora dos espaços criados. Essencial no resultado.
<b>Estática centroide</b>	considera a simetria radial como norteadora dos espaços. É uma organização que transmite serenidade e equilíbrio, muito utilizada na arquitetura islâmica.
<b>Dinâmica linear</b>	considera o eixo como norteados da organização espacial. Cria a sensação de tensão e energia, muito presente na arquitetura gótica.
<b>Dinamismo</b>	considera as formas e ordenações compositivas entre diferentes geometrias e como contribuem para o volume final.
<b>Forças</b>	considera espécie de eixos invisíveis ao longo dos quais os principais elementos se organizam. São os elementos de tensão que contrapõe aos elementos de harmonia.
<b>Organização</b>	considera a divisão dos espaços, as entradas e a circulação entre eles.
<b>Complexidade e contradição</b>	Considera formas e ornamentos.
<b>Dinâmica e energia da forma</b>	considera formas futuristas, construtivistas ou expressionistas e em como isso resulta na criação de espaços e bordas.

Fonte: dos autores com base em Baker (c1996)

Geoffrey Baker (c1996) não se limita apenas às estruturas físicas que resultam na edificação, mas sim se concentra em compreender a obra como um todo, identificando e determinando agentes externos influenciadores na arquitetura e, na sequência, aplicando a metodologia de análise gráfica por ele elaborada em alguns edifícios.

#### 4.2 A Análise da Arquitetura – de Simon Unwin

A forma de análise e representação arquitetônica de Simon Unwin (2013) aborda desde conceitos da concepção do edifício até interferências do lugar no qual a edificação está inserida. Para o autor os temas para análise podem ser divididos em: condicionantes da arquitetura, componentes primários, elementos rudimentares e elementos modificadores.

Os elementos condicionantes consideram condições físicas que implicam no desenvolvimento da arquitetura. Eles são elencados e definidos no Quadro 3.

**Quadro 3: Elementos condicionantes da arquitetura segundo Unwin**

TEMA	CONCEITO
<b>Terreno</b>	quem compreende uma área com a qual o edifício se relaciona
<b>Espaço acima</b>	responsável por emoldurar o edifício
<b>Gravidade</b>	responsável por manter a arquitetura conectada ao terreno
<b>Luz</b>	meio de visualização da arquitetura
<b>Tempo</b>	meio de experimentação da arquitetura

Fonte: dos autores com base em Unwin (2013)

Unwin (2013) também apresenta uma série de componentes primários que compõe a arquitetura. Tais elementos podem ser vistos no Quadro 4:

**Quadro 4: Componentes primários da arquitetura segundo Unwin**

TEMA	CONCEITO
<b>Área de terreno definida</b>	terreno independentemente do tamanho
<b>Área elevada ou plataforma</b>	área elevada em relação à linha natural do terreno
<b>Área rebaixada ou vala</b>	área rebaixada em relação à linha natural do terreno
<b>Marco</b>	elemento de destaque e identificação de um lugar
<b>Foco</b>	elemento que concentra a atenção dos usuários
<b>Barreira</b>	elemento de separação entre ambientes, seja físico ou não
<b>Cobertura</b>	abrigo de intempéries, divide a arquitetura do céu e necessita de apoio
<b>Pilares de apoio ou colunas</b>	elementos verticais responsáveis por suportar a cobertura
<b>Percursos</b>	elementos pelos quais os usuários se deslocam
<b>Pontes</b>	elemento que se sobrepõe a outros e os supera

<b>Aberturas - Portas</b>	elementos que auxiliam na transposição entre um ambiente e outro, ou entre interno e externo
<b>Aberturas - Janelas</b>	elementos que permite passagem de luz e ar, bem como a conexão visual entre interno e externo
<b>Aberturas - paredes de vidro</b>	elementos que permitem transpor barreiras, incidência de luz e passagem de ar, além de permitir a conexão visual
<b>Tirante ou cabo suspenso</b>	elemento capaz de suportar uma cobertura ou plataforma

Fonte: dos autores com base em Unwin (2013)

Por fim, Unwin (2013) ainda afirma que todos os elementos básicos podem sofrer interferência do que ele chama de elementos modificadores da arquitetura, que fatores que podem influenciar na qualidade dos espaços criados. Tais condicionantes podem ser observadas no Quadro 5.

**Quadro 5: elementos modificadores da arquitetura segundo Unwin**

TEMA	CONCEITO
<b>Luz</b>	Pode ser natural ou artificial e permite a melhor percepção do espaço, também está relacionada a questões de conforto do usuário.
<b>Cor</b>	Encontrada em parceria com o elemento “luz”, permite destaque e identificação de lugares
<b>Temperatura</b>	Pode ou não estar associada ao elemento “luz”, a humanidade emprega a arquitetura como um recurso para se proteger tanto do calor quanto do frio.
<b>Ventilação</b>	Junto da temperatura e umidade identificam o clima de um lugar.
<b>Som</b>	Elemento que pode ser potencializado ou minimizado através da arquitetura, permite também a identificação de uma determinada atividade que ocorra no ambiente.
<b>Odor</b>	Elemento resultante de ocupação ou atividade específica realizada em um determinado ambiente.
<b>Textura e tato</b>	Propriedades sensitivas que auxiliam na identificação do lugar.
<b>Escala</b>	Se refere ao tamanho de algo relativo ao usuário, seu emprego de forma equivocada pode prejudicar o uso do espaço.
<b>Tempo</b>	Os efeitos do tempo sobre a arquitetura podem ser naturais ou provocados, pode ser o tempo do passar dos anos ou o tempo de percurso do usuário no espaço arquitetônico.

Fonte: dos autores com base em Unwin (2013)

Para Simon Unwin (2013) a complexidade arquitetônica é resultado da interação dos elementos primários com os elementos modificadores. A análise que o autor propõe é ampla e repleta de elementos influenciadores e compositivos. Ele defende também que determinados critérios podem ou não ser aplicados a uma obra, cabendo analisar se há influência no resultado.

#### 4.3 Arquitetura – Forma, Espaço e Ordem – de Francis Ching

Ching (2007) defende a análise arquitetônica como um importante instrumento de repertório arquitetônico através de uma ótica sistêmico-estrutural. Isso é, quando se analisa uma sequência de edificações, cria-se um repertório que serve de referência para identificar os mesmos elementos compositivos em qualquer outra obra.

Quando são visíveis aos olhos no papel ou no espaço tridimensional, esses elementos se tornam forma com características de matéria, formato, tamanho cor e textura. À medida que experimentamos essas formas em nosso ambiente, devemos ser capazes de perceber em sua estrutura a existência dos elementos primários do ponto, da reta, do plano e do volume. (CHING, 2016, p.2)

Os conceitos abordados partem de princípios básicos de desenho e geometria como ponto, reta e plano, seguindo uma lógica compositiva obtida através da interação desses elementos, resultando em formas e espaços, que podem, por sua vez, estabelecer uma hierarquia, um ritmo ou uma transformação, conforme pode ser observado no Quadro 6. Em sua análise ele também aborda questões de circulação, proporção e escala. Para Ching, a qualidade arquitetônica do espaço depende diretamente da forma com a qual os elementos pontuados se relacionam entre si.

Quadro 6: elementos de análise segundo Ching

TEMA	CONCEITO
<b>Eixo</b>	Reta que divide formas ou espaços de forma simétrica ou equilibrada
<b>Simetria</b>	Distribuição de formas ou espaços equivalente em relação a um eixo
<b>Hierarquia</b>	Destaque de um elemento em relação aos demais
<b>Ritmo</b>	Movimento que segue um determinado padrão
<b>Referência</b>	Elemento que reúne e organiza espaços
<b>Transformação</b>	Alterações de elementos diante de contextos sem a perda da identidade

Fonte: dos autores com base em Ching (2007)

Francis Ching (2007) propõe uma abordagem que evidencia a composição arquitetônica, enfatizando aspectos conceituais da forma e do espaço e decompondo a arquitetura enquanto estrutura formal. O foco do trabalho é entender estrutural e construtivamente os elementos formais e conceituais que compõem a arquitetura. Ele,



consequentemente, acaba não elaborando uma metodologia, mas destacando conceitos que devem ser percebidos durante a análise projetual.

#### 4.4 Precedentes em Arquitetura – de Roger Clark e Michael Pause

Clark e Pause (1996), diferentemente dos autores já apresentados, propõem uma sistemática de análise gráfica projetual e a aplicam em várias obras arquitetônicas. Para elaboração das análises eles criam e apresentam no início de sua obra uma sequência de símbolos que auxiliam na compreensão dos diagramas 2D. Os temas abordados por eles podem ser observados no Quadro 7.

Quadro 7: temas e diagramas propostos por Clark e Pause

TEMA	CONCEITO
<b>Estrutura</b>	pilares, vigas e paredes e seus padrões, regularidade e complexidade
<b>Luz natural</b>	filtragem, bloqueio e reflexão
<b>Concentração</b>	volumetria
<b>Da planta ao corte</b>	planta como gerador da forma, cortes e elevações como geradores de percepção do espaço
<b>Da circulação à área útil</b>	elementos estáticos e dinâmica de uso/circulação
<b>Da unidade ao todo</b>	forma, união e sobreposição
<b>Do repetitivo ao único</b>	elementos múltiplos ou únicos que compõem o espaço
<b>Geometria</b>	forma em planta e dos sólidos que compõem a volumetria – tamanho, proporção, forma e localização
<b>Simetria e equilíbrio</b>	balanço e equilíbrio conceitual
<b>Aditivo e subtrativo</b>	cor, volume e materiais
<b>Hierarquia</b>	organização dos atributos
<b>Partí</b>	formas básicas tomadas como partido em planta

Fonte: dos autores com base em Clark e Pause (1996)

Clark e Pause (1996) focam em análise gráfica propriamente dita, descrevendo os critérios de análise através do desenho 2D e necessitando, muitas vezes, de legenda para identificar os conceitos presentes. Sobre o trabalho desenvolvido é possível destacar a criação e aplicação de uma mesma metodologia em diversos estudos de caso.

### 3. Realidade Aumentada

Segundo Kipper e Rampolla (2013) a Realidade Aumentada (RA) é uma variação da Realidade Virtual (RV) de tal modo que, enquanto as tecnologias de RV propiciam ao usuário uma verdadeira imersão em um ambiente sintético, a RA sobrepõe informações digitais ao mundo real, podendo tais informações serem imagens, áudios, vídeos ou até mesmo sensações tácteis.

Três características básicas são necessárias para se obter uma Realidade Aumentada: combinar informações entre o mundo real e virtual, possuir interatividade em tempo real e ser operada e utilizada em um ambiente virtual.

Para viabilizar o uso de RA são necessários alguns componentes tecnológicos e plataformas divididos entre as demandas de hardware e de software. Nos hardwares são necessários computador (desktop, notebook, tablet, smartphone ou óculos de RA). e infraestrutura de rede; já nos softwares são necessários um aplicativo ou programa local de reconhecimento em RA, serviços de rede e um servidor de conteúdo. Os maiores desafios da RA hoje são o reconhecimento e a precisão dos sensores (KIPPER e RAMPOLLA, 2013).

No presente trabalho foram adotados alguns recursos de viabilização que são apresentados a seguir:

#### 3.1. WEB VR / WEB AR

É uma interface de programação em *javascript* criada em 2014 por desenvolvedores da RV Mozilla que dispõe de uma biblioteca aberta e acessível para desenvolvimento de experiências em Realidade Virtual e que desde 2018 tem sido desenvolvida também para interfaces de Realidade Aumentada. Além de suportar modelos desenvolvidos em *HTML* diretamente no navegador, possui também a possibilidade de importar modelos digitais feitos em softwares de modelagem como o *Blender* e o *SketchUp*.

#### 3.2. A-FRAME

É uma estrutura de código aberto que permite o desenvolvimento do *WebVR*, permitindo a criação de cenas virtuais e modelos através do *HTML* e utilizando uma biblioteca *javascript* diretamente no navegador. Através do código elaborado é possível criar cenas, modelar objetos geométricos em um plano de trabalho (cena) através da definição de medidas, cores, escalas, proporções, rotações e coordenadas nos eixos X, Y e Z, sendo o eixo X no sentido direita (+) e esquerda (-) da tela, o eixo Y para cima (+) ou para baixo (-) na tela e o eixo Z para dentro (-) e para fora da tela (+). Além da modelagem de formas e princípios geométricos, ela também permite a definição e importação de itens como imagens, iluminação, som e materiais para texturas, que podem resultar em um modelo estático, porém passível de visualização 360º ou dinâmico, criando uma animação.

#### 3.3. Glitch

O *Glitch* é um ambiente disponível online que permite a criação e desenvolvimento do código utilizando recursos do *A-Frame* através da programação em *HTML*. Nele é possível realizar modelagem e verificar as alterações no modelo em 3D em tempo real. Ele permite a interação tanto entre links internos quanto externos e permite criar botões de navegação no modelo.

### 3.4. AR.JS

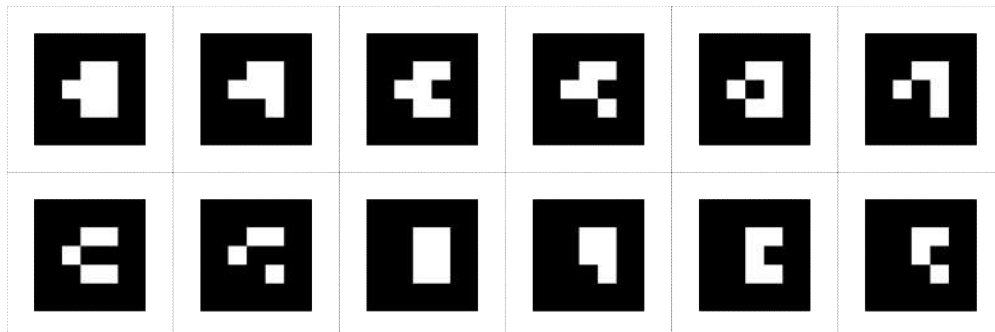
O *AR.js* é uma solução também de código aberto que permite a visualização de Realidade Aumentada na *Web* através do navegador. É possível criar uma interface entre *AR.js* e o *A-frame*. A cena pode ser desenvolvida através da programação do código no *A-frame*, bem como a definição e relação dos marcadores de RA (*presets*). Os marcadores são imagens externas que quando posicionadas em frente à câmera do dispositivo, acionam o modelo correspondente definido através do código desenvolvido no *A-frame*.

## 4. Metodologia

Realizada a etapa de revisão bibliográfica e apresentação do recurso de Realidade Aumentada, foram elaborados modelos 3D dos dois edifícios históricos propostos para análise: o Panteão romano e a Basílica de Santa Sofia. Os modelos 3D foram desenvolvidos com o auxílio do software de modelagem *SketchUp*.

Na sequência foram escolhidos alguns marcadores físicos 2D para viabilização do recurso da Realidade Aumentada e visualização do modelo e seus conceitos. Exemplos dos marcadores utilizados podem ser vistos na Figura 1.

Figura 1: marcadores gerados de 00 à 11



Fonte: <http://au.gmented.com/app/marker/marker.php>

Os trabalhos desenvolvidos para cada uma das obras serão apresentados a seguir:

### 4.1. Panteão Romano

Para elaboração da análise do Panteão romano foram considerados os temas abordados pelos autores de análise gráfica anteriormente apresentados. O Quadro 8 apresenta as principais temáticas apresentadas e quais autores abordam cada um deles.

Quadro 8: comparação entre temas abordados pelos autores

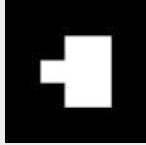
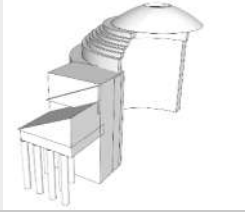

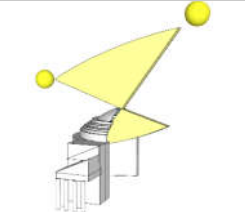

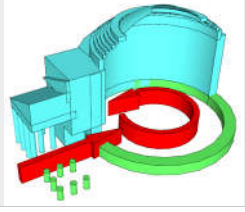

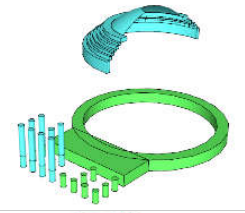
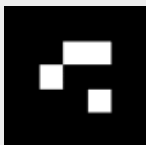
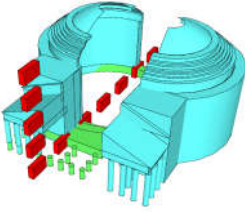

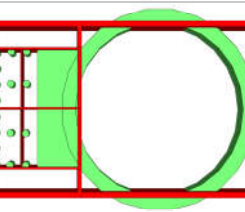

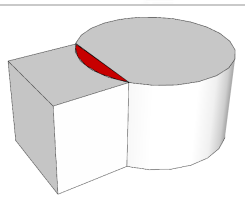
TEMA	BAKER	UNWIN	CHING	CLARK E PAUSE
Análise climática (iluminação, ventilação)	X	X		X
Circulação (vertical e horizontal, acessos)	X	X	X	X

TEMA	BAKER	UNWIN	CHING	CLARK E PAUSE
<b>Cobertura</b>		X		
<b>Dinâmica da forma (3D)</b>	X		X	X
<b>Eixos/simetria</b>	X		X	X
<b>Elementos de destaque/marcos - representatividade</b>	X		X	
<b>Elementos primários (ponto, reta e plano)</b>	X		X	
<b>Entorno</b>	X	X	X	X
<b>Escala (dimensão)</b>		X	X	
<b>Espaços específicos (cela, edícula)</b>		X		
<b>Estrutura</b>		X	X	X
<b>Geometria (2D)</b>	X		X	X
<b>Grid</b>	X			
<b>Hierarquia dos espaços/elementos centrais</b>	X		X	X
<b>Materialidade (técnicas construtivas e texturas)</b>				
<b>Organização de planos (lajes, aberturas, elementos de ligação)</b>	X	X		
<b>Partido arquitetônico</b>			X	
<b>Programa de necessidades</b>			X	
<b>Relação planta e corte</b>				X
<b>Repetição/ritmo</b>	X		X	X
<b>Tempo</b>		X		
<b>Vistas (aberturas, portas, janelas, vidros)</b>		X		

Fonte: dos autores

Assim sendo, com base nos critérios abordados pelos autores, chegou-se a um conjunto comum de temas para análise e foram eles: análise climática, circulação, dinâmica da forma, eixos e simetria, estrutura, geometria 2D, hierarquia dos espaços e elementos de repetição ou ritmo. O entorno, apesar de ser proposto como tema de análise pelos 4 autores, é o único tema cujo diagrama não foi elaborado. Excetuando esse, cada um dos outros temas e os respectivos diagramas foram desenvolvidos com o auxílio do software de modelagem *SketchUp* e podem ser vistos no Quadro 9, juntamente com o respetivo marcador físico 2D escolhido para associar o modelo à tecnologia de Realidade Aumentada.

**Quadro 9: diagramas e marcadores correspondentes para o Panteão romano**

TEMA	CONCEITO	MARCADOR	DIAGRAMA
<b>Estrutura</b>	Destaca os elementos estruturais da edificação, que nesse caso são de pedra e alvenaria		
<b>Análise climática</b>	Destaca o comportamento da luz natural dentro do edifício		
<b>Circulação</b>	Destaca o fluxo principal de circulação de pessoas dentro da edificação		
<b>Repetição/ritmo</b>	Destaca formas geométricas que se repetem e como se organizam (se em filas, sobrepostas etc)		
<b>Eixos/simetria</b>	Estabelece eixos de simetria tanto em planta quanto em vista		
<b>Geometria</b>	Identifica proporções geométricas, como a proporção áurea, e como os elementos arquitetônicos compõem a geometria		
<b>Dinâmica da forma</b>	Identifica a organização de volumes com adição de dois ou mais volumes ou subtração de parte deles nos encontros		




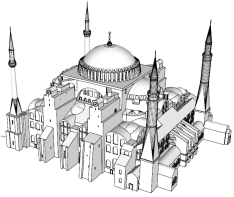

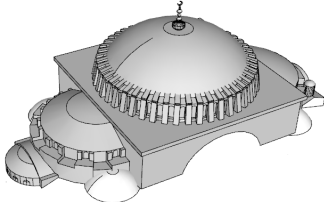
TEMA	CONCEITO	MARCADOR	DIAGRAMA
Hierarquia dos espaços/ elementos centrais	Estabelece uma hierarquia entre as formas geométricas que compõe a edificação, evidenciando a que mais se destaca		


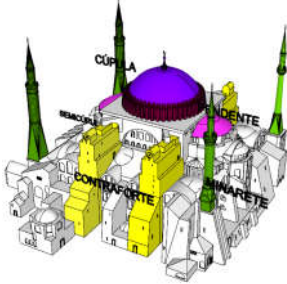
Fonte: <http://augmented.com/app/marker/marker.php> e dos autores

#### 4.2. Basílica de Santa Sofia

Já os modelos desenvolvidos para a Basílica de Santa Sofia representam vários conceitos em um único diagrama, fazendo o uso da cor e de algumas legendas diretamente no modelo para expressar expressá-los. O primeiro diagrama apresenta a relação entre planta e corte, além de identificar com cores e legendas os diferentes usos dos espaços da Basílica. O segundo diagrama representa a composição volumétrica do edifício. Já o terceiro modelo apresenta a cúpula como elemento central e até de repetição para a sequência de soluções de cobertura da edificação e, por fim, o diagrama de partido, marcos e estrutura, que também faz uso de cores diferentes e legendas para identificação dos elementos. Cada um desses modelos 3D e o marcador 2D escolhido para representá-lo pode ser observado no Quadro 10.

**Quadro 10: diagramas e marcadores correspondentes para a Basílica de Santa Sofia**

TEMA	CONCEITO	MARCADOR	DIAGRAMA
Da planta ao corte/ usos	Destaca os principais espaços e apresenta parte da volumetria		
Volumetria	Apresenta a edificação como um todo		
Cúpula	Destaca o elemento principal da construção		

<p><b>Partí, marcos e estrutura</b></p>	<p>Apresenta o partido arquitetônico, os elementos que propiciam a identificação da edificação ao longe e evidenciam a sustentação do elemento de partido</p>		
---	---	--	---

Fonte: <http://augmented.com/app/marker/marker.php> e dos autores

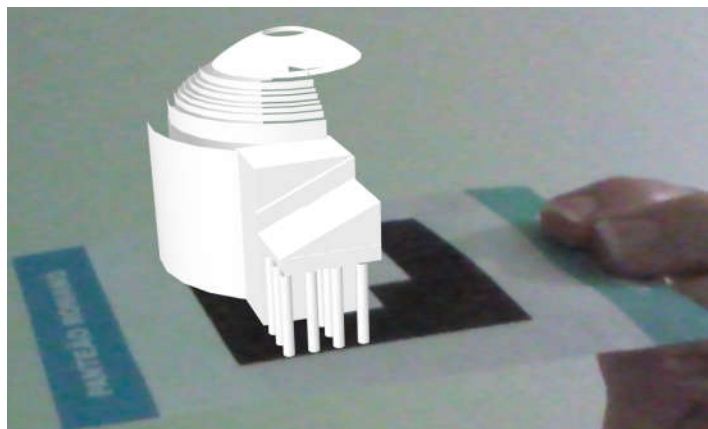
## 5. Resultados

Feitas as análises dos edifícios, viabilizou-se a possibilidade de visualização dos modelos via leitura dos marcadores 2D previamente estabelecidos através de um código desenvolvido em linguagem *HTML* a partir de duas bibliotecas *javascript* de código aberto: *A-Frame* para a interação dos modelos e *AR.js* para a associação dos modelos aos marcadores físicos 2D. O *Glitch* foi o ambiente de criação disponível online que permitiu o desenvolvimento do código unindo todos os recursos.

O material, além de ficar disponível na plataforma online do Glitch, também pode ser acessado através de um servidor próprio. O material desenvolvido para o Panteão romano pode ser acessado através do link <https://opus.fec.unicamp.br/cupula>, enquanto que as análises desenvolvidas para a Basílica de Santa Sofia podem ser acessadas através do link <https://opus.fec.unicamp.br/hagiasophia/index.html>.

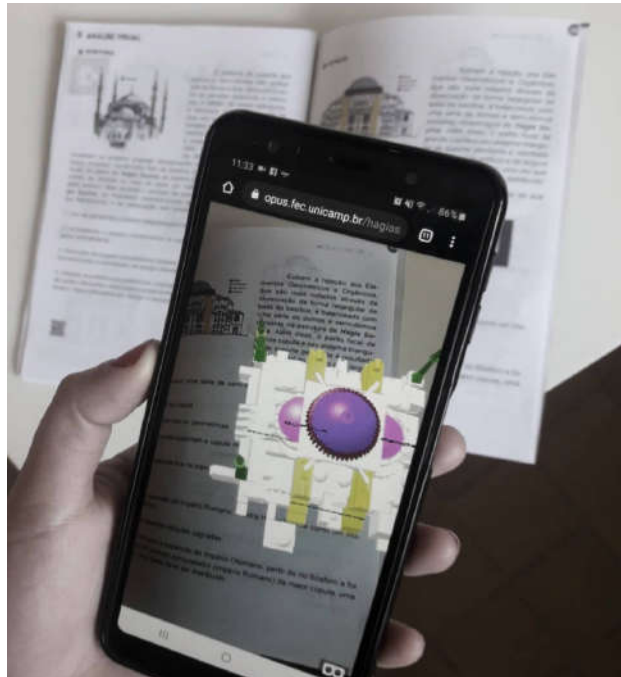
Para acessar o material disponível nos links é necessário ter um dispositivo com câmera e conexão com a internet. Assim que o dispositivo estiver ligado e conectado à um dos links do servidor é necessário apontar a câmera para um dos marcadores 2D previamente impressos ou que estejam em imagem digital na tela de algum outro dispositivo (exemplo: acessar o link através de um notebook com câmera e mostrar o marcador através da tela de um tablet ou smartphone). Alguns exemplos de acesso ao servidor e aos modelos mediante o uso de marcador impresso podem ser observados nas Figura 2 e Figura 3.

**Figura 2: acesso ao modelo estrutural do Panteão a partir de um marcador**



Fonte: dos autores

Figura 3: acesso ao modelo da Basílica de Santa Sofia a partir de um marcador



Fonte: dos autores

## 6. Discussão

Ao longo do desenvolvimento do trabalho algumas adaptações tanto no código quanto no modelo foram necessárias. No código foram testadas diversas extensões de arquivos para visualização dos modelos, porém foi a extensão .OBJ, obtida a partir da exportação do software *SketchUp* que apresentou melhor funcionamento. Foi testado também a possibilidade de armazenar os modelos em um repositório online como o *GitHub*, mas não foi necessário, pois o próprio *A-Frame* permitia o vínculo ao arquivo desejado no servidor através do marcador "assets". Ainda foram necessários vários testes quanto à escala do modelo, para que não houvesse perda de informações.

A biblioteca *A-Frame* permite o desenvolvimento e modelagem de geometrias através da determinação de coordenadas geométricas e operações entre sólidos. Tal alternativa foi testada, porém não desenvolvida até o final por apresentar uma difícil navegabilidade e pela dificuldade de determinar pontos de amarração das formas volumétricas a partir de uma forma volumétrica anterior, deixando assim algumas falhas no volume da edificação como um todo. Nesse aspecto o software *SketchUp* apresenta uma melhor navegabilidade, assim como permite a modelagem independente de coordenadas, podendo simplesmente determinar com a aproximação do cursor qual é o ponto exato para inserção de uma forma.

O trabalho foi relevante no que diz respeito ao desenvolvimento de novas tecnologias para análise projetual. A análise gráfica serviu como ponto de partida para a criação de diversos diagramas que antes eram representados em desenhos impressos e agora podem ser representados em um modelo único digital, auxiliando assim na percepção e no impacto espacial que determinados elementos possuem no complexo de uma obra arquitetônica



Como continuidade do trabalho a proposta será desenvolver e aprimorar tais técnicas de representação, bem como divulgar os modelos para a comunidade acadêmica.

## 7. Considerações Finais

A utilização de modelos em Realidade Aumentada é uma forma de inserir a análise gráfica no campo tecnológico, além de permitir uma maior disseminação do conteúdo, uma vez que o material pode ser acessado em qualquer lugar do mundo, basta ter conexão com a internet e um dispositivo com câmera.

A tecnologia vem mudando a maneira de informar e educar as pessoas, por isso muito se discute a respeito da quantidade de informações disponíveis atualmente na internet. A RA, quando aplicada para um fim cultural, traz muitos benefícios ao usuário, dentre eles um maior controle do aprendizado, através da manipulação de objetos virtuais ou representações de objetos reais.

No presente trabalho os diagramas tomaram como base 4 dos principais autores do tema, porém os temas analisados não devem restringir a análise, mas sim ampliar as possibilidades de visualização de um edifício arquitetônico.

Os exemplos citados compreendem apenas a dois edifícios históricos que possuem o elemento arquitetônico da cúpula em comum, porém as análises podem ser aplicadas a qualquer projeto ou obra, desde que se possa analisar os desenhos e modelar a edificação digitalmente.

## Agradecimentos

Agradecemos ao grupo de pesquisa em Tecnologia aplicada à Arquitetura da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas formado por orientandos de iniciação científica, mestrado e doutorado além do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC e ao CNPq, por conceder uma bolsa de Iniciação Científica.

## Referências

BAKER, G. H. **Design strategies in architecture**: an approach to the synthesis of form. New York, NY; London: Van Nostrand Reinhold: Spon, c1996.

CHING, F. **História global da arquitetura**. Coautoria de Mark Jarzombek, Vikramaditya Prakash. São Paulo, SP: WMF Martins Fontes: SENAC São Paulo, 2016. 848 p.

CHING, F. **Arquitetura - forma, espaço e ordem**. São Paulo: Bookman, 2007.

CLARK, R.; PAUSE, M. **Precedents in Architecture**: analytic diagrams, formative ideas, and partis. New York: John Wiley & Sons Inc, 1996.

FANTINATO, D. M. **O uso de diagramas na representação de projetos em publicações de arquitetura: o caso da Domus**. 2018. 1 recurso online (119 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo,

Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/331872>>. Acesso em: 3 set. 2018.

HEWITT, M. Representational Forms and Modes of Conception: An Approach to the History of Architectural Drawing. **Journal of Architectural Education**, v. 39, n. 2, p. 2–9, 1985. Disponível em <<http://www.jstor.org/stable/1424961>>: Acesso em: 30 de maio de 2018.

KIPPER, G.; RAMPOLLA, J. **Augmented Reality - an emerging Technologies Guide to AR**. 1. Ed. Elsevier. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781597497336000085?via%3Dihub>> Acesso em: 30 de maio de 2018.

RUBINO, S.; GRINOVER, M. **LINA por escrito: textos escolhidos de Lina Bo Bardi: 1943-1991**. São Paulo, SP: CosacNaify, 2009. 194 p.

SILVA I. M. M.; VIZIOLI S.H.T. 2013. Ensino de Arquitetura e Urbanismo com o auxílio de ferramentas digitais. **Didáctica proyectual y entornos postdigitales. Prácticas y reflexiones en escuelas latinoamericanas de Arquitectura y Diseño**. Universidad Nacional de Mar del Plata : Mar del Plata, 2013. p. 210-222. Disponível em: <<http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/43958>> Acesso em: 30 de maio de 2018.

UNWIN, S. **A análise da arquitetura**. Porto Alegre – RS. Bookman. 2013.

ZEVI, B. **Saber ver a arquitetura**. 6. ed. São Paulo, SP: M. Fontes, 2009. 286 p., il. (Coleção a).

### Sites

Marcadores em Barcode. Disponível em: < <http://au.gmented.com/app/marker/marker.php>>. Acesso em: 06 de julho de 2019.

Plataforma online para interface em RA. Disponível em: <<https://aframe.io/>> Acesso em: 8 de maio de 2019.

Plataforma online para desenvolvimento do código. Disponível em: < <https://glitch.com/>> Acesso em: 8 de maio de 2019.