

Anais

PATRIMÔNIO

conectando dimensões
da realidade **4.0**

2022

Organização

Instituições

Apoio



AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, **DESDE QUE CITADA A FONTE.**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Anais Patrimônio 4.0 (3. : 2022 : Goiânia, GO)
Anais patrimônio 4.0 [livro eletrônico] :
conectando dimensões da realidade. -- 1. ed. --
Goiânia, GO : LaSUS FAU, 2022.
PDF.

Vários autores.
Vários colaboradores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-992384-9-9

1. Arquitetura 2. Inovação tecnológica
3. Patrimônio cultural 4. Tecnologia I. Título.

22-105905

CDD-363.69

Índices para catálogo sistemático:

1. Patrimônio cultural : Memória e preservação
363.69

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Nota

Os textos aqui apresentados são de responsabilidade dos autores, assim como qualquer eventual perda de informação na transposição dos dados de arquivos que foram enviados fora dos padrões estabelecidos.



PATRIMÔNIO

conectando dimensões
da realidade 4.0

[24] - [26] de março [2022]

O EVENTO

O impacto disruptivo da Indústria 4.0 está se espalhando por todos os campos do conhecimento, mudando e transformando nossa maneira de interagir com coisas e pessoas. Mesmo que no campo do Patrimônio Cultural os efeitos dessa revolução ainda não sejam tão perceptíveis, podemos supor que as experimentações e aplicações, atuais e nos próximos anos, levarão o campo da preservação, conservação, gestão e fruição do Patrimônio Cultural a horizontes novos e inesperados.

O evento Patrimônio 4.0: conectando dimensões da realidade, busca reunir pesquisadores nacionais e internacionais para discutir os possíveis impactos do paradigma 4.0 sobre o Patrimônio Cultural Edificado, por meio da articulação em um ambiente de divulgação e troca de conhecimentos sobre a área de tecnologia, inovação e ciência. O evento nasce da parceria de grupos de pesquisa envolvidos na temática do Patrimônio Cultural Arquitetônico, contando com a comunidade acadêmica, especialistas e profissionais das áreas de interesse.

A realização desse evento é uma oportunidade de encontros e trocas sobre o Patrimônio Cultural Arquitetônico na dimensão 4.0, com enfoque nas tecnologias digitais, contemplando temas abrangentes como documentação, conservação, gestão, reabilitação, e suas especialidades como monitoramento, simulação ambiental, internet das coisas, *machine learning*, dentre outras.

ÁREAS TEMÁTICAS

Eixo 01: HBIM e HCIM - abrange as potencialidades da abordagem BIM e o conjunto de modelos compartilhados, aplicados à documentação e processos de gestão do estado de conservação do patrimônio arquitetônico, armazenamento de banco de dados, e modelagem nas escalas as built. O HCIM traz uma nova concepção de modelagem e gerenciamento de informações no processo de análise, gestão e preservação do patrimônio na escala urbano-paisagística. Contempla: o planejamento territorial e as políticas públicas na conservação de conjuntos urbanos, o CIM (City Information Modeling) aplicado ao patrimônio, HIS (Heritage Information System) e smart city nos contextos de interesse de preservação.

Eixo 02: Levantamento de dados in loco - abordagens metodológicas inovadoras para detecção e aquisição de dados, mapeamento de manifestações patológicas e modelagem as built; métodos e estratégias de levantamento com utilização de drones (*Remotely Piloted Aircraft - RPA*), laser scanner, fotogrametria digital e termografia.

Eixo 03: Tecnologia 4.0 na divulgação patrimonial - contempla todo e qualquer instrumento e modalidade de divulgação do patrimônio por meios digitais; educação patrimonial pelo uso de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC); gamificação do patrimônio.

Eixo 04: Tecnologias imersivas - compreende processos que fazem uso de Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA) e Realidade Mista (RM) voltadas à valorização do patrimônio; experiências de virtualização de museus; ambientes virtuais interativos.

Eixo 05: Monitoramento e simulação - abrange pesquisas que utilizem simulação computacional e monitoramento para avaliação do desempenho térmico e energético de edificações patrimoniadas; análise de soluções para retrofit e desenvolvimento de tecnologias para monitoramento visando a conservação do patrimônio edificado, bem como a conservação de acervos.





PATRIMÔNIO

conectando dimensões
da realidade 4.0

[24] - [26] de março [2022]

Eixo 06: Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA) - envolve objetos inteligentes, sensores, serviços e aplicativos para o monitoramento de sítios históricos e instituições culturais; tecnologias pervasivas, ubíquas e ou de inteligência artificial para integração, gerenciamento e análise de grande volume de dados, voltadas à segurança física, à eficiência dos processos, à produção de metadados descritivos, ao enriquecimento semântico e da experiência do usuário, e à divulgação do patrimônio cultural.

ORGANIZAÇÃO DO EVENTO

Simulação Computacional no Ambiente Construído (SiCAC – UnB)

Laboratório do Ambiente (LabAm – UFG)

Apoio:

Laboratório de Sustentabilidade Aplicado a Arquitetura e ao Urbanismo (LaSUS – UnB)

Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética (LACAM – UnB)

Arquitetura, Inovação e Tecnologia (ARQUITEC – USP)

Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e Tecnologias Digitais (LCAD – UFBA)

Instituições:

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Universidade de Brasília (UnB)

Universidade Federal de Goiás (UFG)

Coordenação Geral:

Prof. Dr. Pedro Henrique Gonçalves [Universidade Federal de Goiás - UFG]

Comissão Organizadora:

Profa. Dra. Vanda Alice Garcia Zanoni [Universidade de Brasília - UnB]

Prof. Dr. Caio Frederico e Silva [Universidade de Brasília - UnB]

Profa. Dra. Carina Folena Paes [Universidade Federal do Paraná - UFPR]

Profa. Dra. Clarissa Sartori Ziebell [Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS]

Profa. Dra. Fabíolla Xavier Rocha Ferreira Lima [Universidade Federal de Goiás - UFG]

Profa. Dra. Natália Biscaglia Pereira [Universidade Federal da Fronteira do Sul- UFFS]

Prof. Dr. Marcio Minto Fabrício [Instituto de Arquitetura e Urbanismo – IAU | USP São Carlos]

Profa. MSc. Ariane Magda Borges [Universidade Federal de Goiás - UFG]

MSc. Sandra Schmitt Soster [Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU/ USP São Carlos]





DEEP LEARNING E SUAS POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO NO PATRIMÔNIO CULTURAL EDIFICADO

Deep learning and its application possibilities in built cultural heritage

Lara Monalisa Alves dos Santos

Mestre, UnB, laramonalisa.arquitetura@gmail.com

Vanda Alice Garcia Zanoni

Doutora, UnB, vandazanoni@unb.br

Resumo

Este artigo apresenta uma investigação sobre as possibilidades de aplicação de Deep Learning (DL) no campo do patrimônio cultural edificado como ferramenta de suporte à decisão para a sua conservação. Nos últimos anos, o DL passou a ser aplicado nos sistemas de monitoramento, classificação e preservação da identidade cultural de edifícios patrimoniais juntamente com técnicas de mapeamento e modelagem tridimensional. Para esta pesquisa, foi utilizada uma revisão sistemática da literatura (RSL), considerando três bases de dados: Web of Science, Scopus e Engineering Village. Foram utilizadas as palavras-chave: deep learning, machine learning e heritage building. A partir da RSL, essa pesquisa também contribui para uma avaliação de técnicas e ferramentas utilizadas por autores nos últimos cinco anos, identificando que os estudos mais recentes se baseiam em imagens obtidas em levantamentos com nuvem de pontos e aplicação da inteligência artificial para a detecção de danos, localização e movimento de pessoas, classificação de elementos, estilos e tipologias arquitetônicas.

Palavras-chave: *Deep learning; Machine learning; Patrimônio cultural; Redes neurais; Detecção de objetos*

Abstract

This article presents an investigation into the possibilities of applying deep learning (DL) in the field of built cultural heritage as a decision support tool for its conservation. In recent years, the DL has been applied in systems for monitoring, classifying and preserving the cultural identity of heritage buildings together with mapping techniques and three-dimensional modeling. For this research, a systematic literature review (RSL) was used, considering three databases: Web of Science, Scopus and Engineering Village. The keywords were used: deep learning, machine learning and heritage building. Based on the RSL, this research also contributes to an evaluation of techniques and tools used by authors in the last five years, identifying that the most recent studies are based on images obtained in point cloud surveys and the application of artificial intelligence to detect damage, location and movement, classification of elements, architectural styles and typologies.

Keywords: *Deep learning; Machine learning; Heritage building; Neural networks; Object detection*



1. INTRODUÇÃO

Os edifícios categorizados como patrimônios culturais de um país possuem essa condição por terem significância cultural e representarem um determinado período histórico. Portanto, sua preservação é primordial para que continuem sendo exemplares, capazes de expressar a história, os valores, a cultura e continuar influenciando as gerações futuras (IPHAN, 1980).

A produção de documentos e registros do patrimônio cultural atrelada às técnicas de automatização que indiquem as formas, detalhes e expressões artísticas existentes nesses edifícios é relevante para a elaboração de planos de conservação e restauração. Assim, a documentação digital e o plano de conservação para a preservação do patrimônio têm possibilitado uma melhor gestão em decorrência das melhorias na velocidade e precisão dos dispositivos de aquisição de imagens (LLAMAS, 2017). Associada às novas tecnologias digitais de aquisição de imagens, ganha relevância os processos automatizados baseados em inteligência artificial, *machine learning* e deep learning (DL), que tornam as tarefas mais dinâmicas e rápidas (TAOUFIG; NAGY; BENEDEK, 2020).

Nos estudos da conservação do patrimônio cultural, algoritmos podem ser usados para processar medições, detectar situações de risco ou avaliar as condições existentes, visando ações de classificação, proteção, manutenção ou reparo dos edifícios. Um modelo virtual 3D de arquitetura pode ser construído para o aprendizado e extração de recursos de dados de imagem por meio do DL (YIN; ANTONIO, 2020). O DL é um método de rede neural e permite que os modelos computacionais compostos por várias camadas de processamento aprendam representações de dados com vários níveis de abstração. Esse tipo de método, conforme Lecun, Bengio e Hinton (2015), melhorou o reconhecimento visual e a detecção de objetos, proporcionando descobertas complexas em grandes conjuntos de dados.

Nesse contexto, o objetivo desse artigo é investigar as possibilidades de aplicação do DL no campo do patrimônio cultural como ferramenta de suporte às decisões para a gestão da conservação.

2. MÉTODO

Para a investigação das possibilidades de uso da DL na conservação do patrimônio edificado, propõe-se uma RSL conforme o método adotado por Barros e Ruschel (2021). Foram consultados três bancos de dados: *Web of Science*, *Scopus* e *Engineering Village*, concentrando-se nos últimos cinco anos (2017-2021). Foram utilizados os termos de busca: “DL”, “*Machine learning*” e “*Heritage building*”, com o objetivo de responder à questão de pesquisa “Qual a abrangência do DL nos edifícios patrimoniais?”.



Na etapa 1 foi utilizado o filtro de categoria “artigos”. Na etapa 2 foram determinados critérios de seleção dos estudos usados para a inclusão e exclusão de artigos da RSL, criando para isso um protocolo com a descrição das seleções dos critérios aplicados, indicado no Quadro 1. O principal critério de exclusão foram artigos duplicados e que fugiam da temática desta pesquisa.

Parâmetros	Critérios	Descrição
Objetivo		Investigar as possibilidades de aplicação do DL no campo dos edifícios patrimoniais.
Contexto		Artigos relacionados ao DL e sua aplicação em edificações patrimoniais.
Idioma		Inglês.
Resultados		Identificação dos autores, periódico, aplicação, objetivo do estudo, tipo de DL utilizada.
Questões de pesquisa		Quais são os campos de pesquisa que utilizam a rede neural aplicada ao edifício patrimonial?
Bases de dados		Web of Science, Scopus e Engineering Village.
Tipos de estudos		Artigos científicos indexados em periódicos e revisados por pares.
Termos de busca		“DL” AND “Heritage building” / “Machine learning” AND “Heritage building”.
Critério de inclusão	CI1	Artigos publicados em periódicos revisados por pares.
	CI2	Estudos que contenham os termos de pesquisa em: título, resumo ou palavras-chave.
Critério de exclusão	CE1	Artigos duplicados.
	CE2	Texto completo não disponível.
	CE3	Artigos não escritos em inglês.
	CE4	Estudos de RSL.
	CE5	Estudo classificado como BAIXO nos critérios de avaliação de qualidade.
	CE6	Estudo classificado como MÉDIO nos critérios de avaliação de qualidade.
Extração de dados		Descrição do contexto, objetivo, método, aplicação, rede neural, relevância e benefícios.
Etapas da RSL	Etapa 1	Exclusão de artigos duplicados.
	Etapa 2	Exclusão de artigos que não atendem aos critérios – CI1, CI2 e CI3 – e que atendam aos critérios de exclusão – CE2 e CE3.
	Etapa 3	Exclusão de artigos classificados como baixa qualidade – CE4 e média qualidade – CE5.

Quadro 1: Protocolo adotado. Fonte: Adaptado de Kitchenham e Charters, 2007; Barros e Ruschel, 2021.

No Quadro 2 são apresentados os critérios estabelecidos para avaliação do nível de qualidade dos textos elegíveis para aplicação dos critérios de exclusão CE5 e CE6.



Nível	Qualidade do desempenho do estudo	Relevância para a questão da revisão	Relevância para o foco da revisão
Alto	O método proposto atende aos padrões exigidos para o assunto em estudo; o estudo seguiu rigorosamente o método proposto; e os resultados são suportados por fatos e dados	O estudo aborda precisamente o alvo objeto da revisão sistemática	O estudo foi realizado em contexto semelhante ao definido para a revisão
Médio	O método proposto apresenta lacunas quanto aos padrões exigidos para o tema em estudo; ou o estudo não mostra que seguiu o método proposto em sua totalidade; ou os resultados não são totalmente baseados em fatos e dados	O estudo aborda parcialmente o assunto em questão da revisão sistemática	O estudo foi realizado em contexto semelhante ao definido para a revisão
Baixo	O método proposto não atende aos padrões exigidos para a disciplina em estudo; ou o estudo não mostra que seguiu o método proposto; ou os resultados não são baseados em fatos e dados	O estudo aborda apenas ligeiramente o assunto de revisão sistemática	O estudo foi realizado em um contexto diferente daquele definido para a revisão

Quadro 2: Critérios de avaliação da qualidade de estudos primários.

Fonte: Adaptado de Harden e Gough, 2012 *apud* Dresch, Lacerda e Antunes Junior, 2017.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado dos termos de busca nas bases de dados elencadas, apresenta-se o Quadro 3 com o número de 76 artigos.

Data da pesquisa	Banco de dados	Critérios de pesquisa	Termos de pesquisa	Número de artigos
15/06/2021	Web of Science	Tópico: título, resumo, palavras-chave)	"DL" AND "Heritage building"	27
			"Machine learning" AND "Heritage building"	14
	Scopus	Título do artigo, Resumo, Palavras-chave	"DL" AND "Heritage building"	20
			"Machine learning" AND "Heritage building"	9
	Engineering Village	Título do artigo, Resumo, Palavras-chave	"DL" AND "Heritage building"	4
			"Machine learning" AND "Heritage building"	2
Total de artigos: 76				

Quadro 3: Número de artigos por database. Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Após aplicação dos critérios de exclusão CE1, CE2, CE3 e CE4, indicados na Quadro 1, foram excluídos 46 artigos, e por fim, a etapa 3 na qual se aplicou o critério de avaliação da qualidade dos estudos teve-se a exclusão de 14 artigos, chegando-se a um resultado final de 16 artigos aptos à leitura e extração dos dados, apresentado na Tabela 1.



Autores	Revista	Técnicas utilizadas	Objetivo do estudo	Modelos de DL
Gong <i>et al.</i> (2021)	<i>Remote sensing</i>	Detecção e classificação de danos	Propor um método para avaliação quantitativa de danos com o uso de drone	R-CNN
Mansuri e Patel (2021)	<i>Emerald insight</i>	Detecção e classificação de danos	Propor um sistema automático de inspeção visual do patrimônio arquitetônico	R-CNN
Lamas <i>et al.</i> (2021)	<i>Neurocomputing</i>	Classificação de estilos arquitetônico	Projetar um conjunto de dados MonuMAI para a classificação de estilos	Faster R-CNN ResNet101
Deligiorgi <i>et al.</i> (2021)	<i>Journal of archaeological Science: reports</i>	Classificação de elementos arquitetônicos	Elaborar um fluxo de trabalho para a digitalização 3D com o uso de técnicas para captura da realidade, anotação e classificação	3D CNN
Taoufig <i>et al.</i> (2020)	<i>Remote sensing</i>	Classificação de estilos arquitetônicos	Utilizar a rede HierarchyNet para a classificação de imagens	CNN
Kumar <i>et al.</i> (2020)	<i>Journal on computing and cultural heritage</i>	Classificação de elementos arquitetônicos	Propor um método para detecção de danos ao patrimônio relacionados a desastres	CNN
Yin e Antonio (2020)	<i>Image and vision computing</i>	Reconstrução 3D	Construir um modelo virtual 3D para o aprendizado direto e extração de recursos de imagens	ANN
Hatir, Barstuğan e Ince (2020)	<i>Journal of cultural heritage</i>	Detecção e classificação de danos	Detectar e classificar os danos causados por intemperismo em rocha	ANN
Piccialli <i>et al.</i> (2020)	<i>Pervasive and mobile computing</i>	Localização e movimento	Propor um sistema de monitoramento capaz de detectar os movimentos e a área de ocupação de visitantes	IoT
Bacharidis, Sarri e Ragia (2020)	<i>International journal of geo-information</i>	Reconstrução 3D	Reconstruir modelos 3D das fachadas do patrimônio arquitetônico	DNN
Pierdicca <i>et al.</i> (2020)	<i>Remote sensing</i>	Classificação de elementos arquitetônicos	Reconhecer os elementos arquitetônicos e a construção de um modelo virtual 3D	RadDGCNN
Murtiyoso e Grussenmeyer (2020)	<i>Sensors</i>	Classificação de elementos arquitetônicos	Construir um modelo virtual 3D e classificação	M_HERACLES
Morbidoni <i>et al.</i> (2020)	<i>Journal on computing and cultural heritage</i>	Classificação de elementos arquitetônicos	Propor um fluxo de trabalho para a identificação dos elementos arquitetônicos e estudos das influências estilísticas.	DGCNN



Autores	Revista	Técnicas utilizadas	Objetivo do estudo	Modelos de DL
Condorelli e Rinaudo (2019)	<i>Remote sensing</i>	Reconstrução 3D	Extrair informações métricas de filmes históricos e reconstrução 3D do patrimônio arquitetônico	R-CNN
Llamas <i>et al.</i> (2017)	<i>Applied sciences</i>	Classificação de elementos tipológicos	Classificar imagens para a documentação digital do patrimônio arquitetônico	CNN
Obeso <i>et al.</i> (2016)	<i>Journal of electronic imaging</i>	Classificação de estilos arquitetônicos	Aplicar as técnicas de características esparsas (SIFT) e valores de pixel primários para classificação de estilos arquitetônicos	CNN

Tabela 1: Descrição dos artigos selecionados pela RSL (continuação). Fonte: elaborado pelos autores, 2021.

O número de artigos publicados relacionados à inteligência artificial e nuvem de pontos vem apresentando uma crescente evolução no ano de 2020 e 2021 (Figura 1). A maioria dos artigos focou no desenvolvimento de métodos para detecção e classificação com o uso do DL e seus modelos de algoritmos, dentre a mais utilizada as redes neurais convolucionais (CNN).

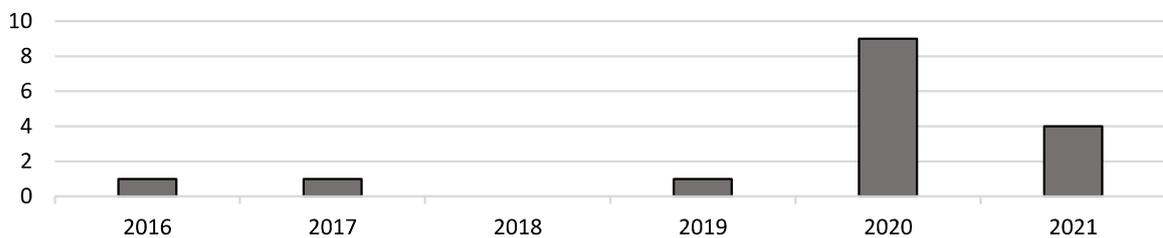


Figura 1. Número de artigos por ano de publicação. Fonte: Elaborado pelos autores, 2021.

Os estudos selecionados pela RSL estão classificados em localização e movimento, detecção e classificação de danos, reconstrução 3D e classificação de elementos, estilos e tipologias arquitetônicas (Figura 2).

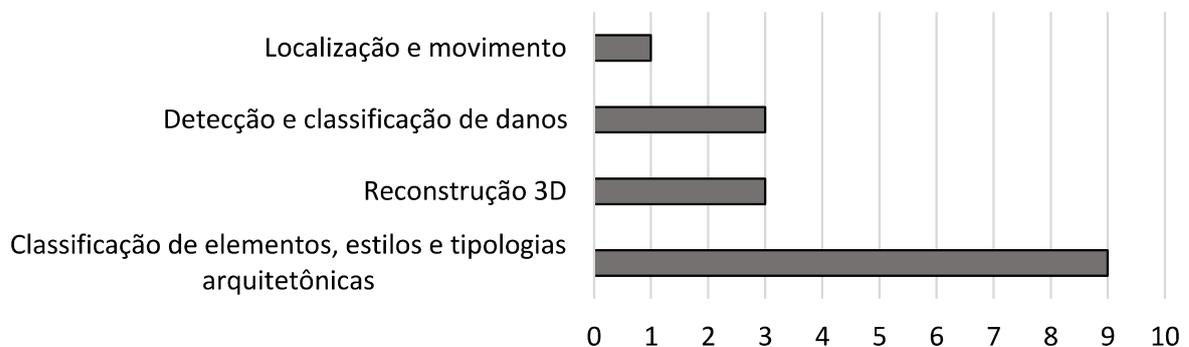


Figura 2. Quantidade de artigos e suas classificações. Fonte: elaborado pelos autores, 2021.



3.1 Classificação de elementos, estilos e tipologias arquitetônicas

A classificação dos estilos arquitetônicos foi explorada no estudo de Llamas *et al.* (2017) com o uso da CNN para os processos de documentação do patrimônio arquitetônico. Os resultados mostraram uma precisão notável do conjunto de dados validados. Obeso *et al.* (2016) também fez uso de uma CNN para a classificação de imagens de edifícios patrimoniais com recursos na entrada da rede e valores de pixel de cor primária, obtendo como resultados a classificação de três estilos arquitetônicos: pré-hispânica, colonial e moderna - com uma precisão de 88,01%.

Para a identificação de estilos e detecção dos elementos arquitetônicos de um edifício patrimonial, Lamas *et al.* (2021) apresentou um framework MonuMAI (*Monument with mathematics and artificial intelligence*) projetando um conjunto de dados, considerando a taxonomia de estilos arquitetônicos e a relação de elementos-chave para classificar e detectar, enquanto que Taoufig *et al.* (2020) utilizaram uma CNN e a rede HierarchyNet para a classificação de edifícios urbanos em diferentes categorias e subcategorias de imagens das suas fachadas.

A classificação dos elementos arquitetônicos foi explorada pelos autores Deligiorgi *et al.* (2021) detalhando a dificuldade em documentar, devido ao seu palimpsesto histórico e as transformações espaciais que cobrem vestígios e mudam a integridade formal e a identidade do patrimônio cultural. Os autores apresentaram um fluxo de trabalho contribuindo com uma nova abordagem de identificação dos componentes arquitetônicos e o uso de redes neurais convolucionais para fins de classificação.

Dados coletados na mídia social e a localização do patrimônio cultural foram estudados por Kumar *et al.* (2020), caracterizando automaticamente as imagens com o uso de uma CNN. Os resultados mostraram que a classificação automática pode reduzir o esforço manual para localização de imagens de patrimônios culturais.

Diferentes técnicas para a classificação dos elementos arquitetônicos foram utilizadas. Os autores Pierdicca *et al.* (2020) usaram a segmentação semântica e o DL para o reconhecimento de elementos históricos na arquitetura, visando acelerar o processo de modelagem do patrimônio cultural em HBIM. Já os autores Murtiyoso e Grussenmeyer (2020) propuseram uma segmentação e uma classificação, em que o principal resultado foi uma representação em 3D do objeto na forma de nuvem de pontos.

A segmentação semântica para o reconhecimento automático dos elementos arquitetônicos e o aproveitamento de dados da nuvem de pontos foram estudados pelos autores Morbidoni *et al.* (2020) para treinar modelos de DL e realizar a segmentação semântica obtidas via *Terrestrial Laser Scanning* (TLS), fazendo o uso de uma CNN de gráfico dinâmico (DGCNN) denominada RadDGCNN com resultados de alta precisão e eficácia.

O patrimônio cultural também é um domínio que pode se beneficiar de estudos utilizando os serviços baseados em localização (LBS), representado pela análise de dados, por meio de



algoritmos e metodologias de DL. Piccialli *et al.* (2020) utilizaram o LBS para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento, apresentando e discutindo uma metodologia de DL aplicada a dados provenientes de um sistema não invasivo de monitoramento IoT Bluetooth implantado dentro de um espaço cultural.

3.2 Reconstrução 3D

Os autores Yin e Antonio (2020) estudaram a conservação do patrimônio arquitetônico, elaborando um procedimento para o uso do scanner a laser e a geração de uma nuvem de pontos para a reconstrução de um modelo virtual 3D e a extração de recursos de dados da imagem por meio do DL e uma rede ANN, apoiando-se no levantamento e mapeamento. Os autores Bacharidis, Sarri e Ragia (2020) reconstruíram modelos realistas em 3D de fachadas de edifícios patrimoniais para a detecção de elementos estruturais.

Condorelli e Rinaudo (2019) examinaram a possibilidade de extração de informações métricas de edifícios históricos retratados por filmes para sua reconstrução virtual em 3D. Na primeira parte da pesquisa foi desenvolvido um algoritmo de detecção com o uso do DL e na segunda parte realizou-se a implementação de algoritmos *open source structure-from-motion* obtendo a reconstrução virtual 3D. Os resultados foram comparados com um *benchmark* para avaliar a qualidade métrica do modelo.

3.3 Detecção e classificação de danos

O uso da inspeção visual das estruturas do patrimônio edificado foi realizado pelos autores Mansuri e Patel (2021) que desenvolveram uma metodologia baseada na inteligência artificial de um sistema de inspeção visual automática e um modelo de CNN mais rápida (R-CNN) para a detecção dos danos encontrados, com uma abordagem menos sujeita a erro dos inspetores. Ao validar o modelo, foi registrada a precisão de 91,58% para detectar três tipos de danos: destacamentos, tijolos expostos e fissuração existentes nas estruturas do patrimônio.

A fotogrametria foi utilizada por Gong *et al.* (2021) para a investigação de danos no patrimônio cultural. Foi proposto um método para avaliação quantitativa de danos em edifícios históricos com estruturas repetitivas baseado em imagens capturas por drones e o uso da Mask R-CNN para melhorar a precisão da segmentação nas bordas do objeto. O procedimento foi testado e validado em um estudo de caso, obtendo resultados eficazes de precisão na realização da avaliação de danos.

Os modelos de reconhecimento baseado em DL e rede neural artificial (RNA) estão presentes no artigo desenvolvido por Hatir, Barstuğan e İnce (2020) para a eliminação de erros humanos no reconhecimento de danos. Com a utilização da fotografia manual, foram registrados diferentes tipos de intemperismo comumente observados nas estruturas históricas da região de Konya. Os resultados mostram precisão de 99,4%.



4. CONCLUSÃO

A partir da RSL foi identificado quatro principais áreas de aplicação do DL no campo dos edifícios patrimoniais dos últimos cinco anos, mostrando as diferentes possibilidades de aplicação para a conservação do edifício patrimonial, sendo elas, a localização e movimento, a detecção e classificação de danos, a reconstrução 3D e a classificação de elementos, estilos e tipologias arquitetônicas.

Os estudos classificados como elegíveis para a leitura estão concentrados nos anos de 2020 percebendo um aumento no ano de 2021 devido ao avanço tecnológico (Internet das Coisas), por razões da limitação das técnicas convencionais e a capacidade de processamento dos dados dos DL. Além disso, destaca-se a possibilidade da realização de tarefas que sejam subjetivas de forma automatizada, com a redução do tempo, custos e riscos. Ao inserir os dados na rede neural, reduz-se significativamente a chance de erro, desde que devidamente treinada.

As novas tecnologias digitais são um avanço para a conservação e restauração do edifício patrimonial, quando combinadas apresentam resultados que colaboram com a preservação da arquitetura e evitam erros graves que possam afetar a integridade do patrimônio. Além disso, é possível notar a importância da gestão da manutenção nestas edificações e o avanço de estudos nessa área no último ano, associando os mapeamentos das manifestações patológicas com o uso de drone e de scanner a laser 3D.

REFERÊNCIAS

BACHARIDIS, K.; SARRI, F.; RAGIA, L. 3D Building Façade Reconstruction Using Deep Learning. ISPRS International Journal of Geo-Information, [S.L.], v. 9, n. 5, p. 322, 13 mai. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi9050322>.

BARROS, N. N.; RUSCHEL, R. C. Machine Learning for Whole-Building Life Cycle Assessment: a systematic literature review. Lecture Notes in Civil Engineering, [S.L.], p. 109-122, 14 jul. 2020. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_10.

CONDORELLI, F.; RINAUDO, F. Processing Historical Film Footage with Photogrammetry and Machine Learning for Cultural Heritage Documentation. Proceedings Of The 1St Workshop on Structuring and Understanding of Multimedia Heritage Contents - Sumac '19, [S.L.], p. 39-46, 2019. ACM Press. <http://dx.doi.org/10.1145/3347317.3357248>.

DELIGIORGI, M. et al. A 3D digitization workflow for architecture-specific annotation of built heritage. Journal of Archaeological Science: Reports, [S.L.], v. 37, p. 102787, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102787>.

DRESCH, A., LACERDA, D.P., ANTUNES JUNIOR, J.A.V. Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement. Springer, Cham (2015).



GONG, Y. et al. Deep Neural Networks for Quantitative Damage Evaluation of Building Losses Using Aerial Oblique Images: case study on the great wall (China). *Remote Sensing*, [S.L.], v. 13, n. 7, p. 1321, 30 mar. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs13071321>.

HATIR, M. E.; BARSTUĞAN, M.; İNCE, İ. Deep learning-based weathering type recognition in historical stone monuments. *Journal Of Cultural Heritage*, [S.L.], v. 45, p. 193-203, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2020.04.008>.

IPHAN – Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Carta de Burra. 1980. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/portal/baixaFcdAnexo.do?id=251>>. Acesso em: 06 set 2021.

KITCHENHAM, B., CHARTERS, S. *Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*, UK, 2007.

KUMAR, P. et al. Detection of Disaster-Affected Cultural Heritage Sites from Social Media Images Using Deep Learning Techniques. *Journal On Computing and Cultural Heritage*, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 1-31, 5 out. 2020. Association for Computing Machinery (ACM). <http://dx.doi.org/10.1145/3383314>.

LAMAS, A. et al. MonuMAI: dataset, deep learning pipeline and citizen science-based app for monumental heritage taxonomy and classification. *Neurocomputing*, [S.L.], v. 420, p. 266-280, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2020.09.041>.

LLAMAS, J. et al. Classification of Architectural Heritage Images Using Deep Learning Techniques. *Applied Sciences*, [S.L.], v. 7, n. 10, p. 992, 26 set. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app7100992>.

LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. *Nature*, [s.l.], v. 521, n. 7553, p. 436-444, maio 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature14539>.

MANSURI, L. E.; PATEL, D.A. Artificial intelligence-based automatic visual inspection system for built heritage. *Smart And Sustainable Built Environment*, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-25, 2 fev. 2021. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/sasbe-09-2020-0139>.

MORBIDONI, C. et al. Learning from Synthetic Point Cloud Data for Historical Buildings Semantic Segmentation. *Journal On Computing And Cultural Heritage*, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 1-16, 8 dez. 2020. Association for Computing Machinery (ACM). <http://dx.doi.org/10.1145/3409262>.

OBESO, A. M. et al. Architectural style classification of Mexican historical buildings using deep convolutional neural networks and sparse features. *Journal Of Electronic Imaging*, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 011016, 19 dez. 2016. SPIE-Intl Soc Optical Eng. <http://dx.doi.org/10.1117/1.jei.26.1.011016>.

PICCIALLI, F. et al. A Deep Learning approach for Path Prediction in a Location-based IoT system. *Pervasive And Mobile Computing*, [S.L.], v. 66, p. 101210, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmcj.2020.101210>.

PIERDICCA, R. et al. Point Cloud Semantic Segmentation Using a Deep Learning Framework for Cultural Heritage. *Remote Sensing*, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 1005, 20 mar. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12061005>.

TAOUFIQ, S.; NAGY, B.; BENEDEK, C. HierarchyNet: hierarchical CNN-based urban building classification. *Remote Sensing*, [S.L.], v. 12, n. 22, p. 3794, 19 nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12223794>.



YIN, Y.; ANTONIO, J. Application of 3D laser scanning technology for image data processing in the protection of ancient building sites through deep learning. *Image And Vision Computing*, [S.L.], v. 102, p. 103969, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.imavis.2020.103969>.