Universidade do Minho
Escola de Arquitetura, Arte e Design

David José Saldanha Vieira

Arquitetura na era da inteligência artificial- Análise a uma nova geração de ferramentas

Volume I

junho de 2026

Arquitetura na era da inteligência artificial - Análise a uma nova geração de ferramentas
David José Saldanha Vieira
UMinho | 2026

Universidade do Minho
Escola de Arquitetura, Arte e Design

David José Saldanha Vieira

Arquitetura na era da inteligência artificial- Análise a uma nova geração de ferramentas

Volume I

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Arquitetura
Construção/Tecnologia

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor João Ricardo Rosmaninho Duarte Silva
Professor Doutor Filipe Jorge da Silva Brandão

junho de 2026

Declaração de integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Direitos de Autor e Condições de Utilização do Trabalho por Terceiros

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição NãoComercial SemDerivações
CC BY-NC-ND 4.0

Declaração de uso de ferramentas de inteligência artificial (IA)

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri a qualquer forma de utilização indevida de ferramentas de Inteligência Artificial (IA), nem à falsificação ou omissão de informações, fontes, dados, resultados ou processos em nenhuma das etapas conducentes à sua elaboração.

Declaro ainda que qualquer utilização de ferramentas de IA foi feita de forma transparente e responsável, encontrando-se devidamente assinalada/descrita no trabalho, e que procedi à verificação crítica da exatidão do conteúdo produzido com o seu apoio, assumindo integralmente a responsabilidade pelo que submeto.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho, bem como as normas aplicáveis de integridade académica e de proteção de dados.

Declaração sobre a utilização de IA Generativa

No decorrer desta investigação foi utilizado o modelo de linguagem de grande dimensão (LLM) ChatGPT como apoio à revisão linguística e reformulação de passagens textuais. A utilização desta ferramenta teve um carácter exclusivamente de assistência, não substituindo o processo de investigação, a análise crítica da bibliografia, a interpretação dos resultados ou a elaboração das conclusões, os quais permaneceram sob responsabilidade exclusiva do autor.

Agradecimentos

Gostaria de expressar, em primeiro lugar, o meu mais profundo agradecimento aos meus pais, pelo apoio incondicional ao longo de todo o meu percurso académico. Não apenas pelo suporte financeiro que tornou possível a realização dos meus estudos, mas também pelo acompanhamento, incentivo e estabilidade emocional que sempre me proporcionaram. Sem eles, a concretização deste percurso, e em particular desta dissertação, não teria sido possível.

Expresso igualmente um sincero agradecimento à equipa de orientação, pela disponibilidade, paciência e rigor demonstrados ao longo de todo o processo. O seu acompanhamento atento, sentido crítico e prontidão no esclarecimento de dúvidas foram fundamentais para o desenvolvimento e consolidação deste trabalho.

Agradeço também à comunidade académica da Universidade do Minho, professores e colegas pela forma como me acolheram ao longo destes anos. Sendo natural da Madeira, encontrei em Guimarães um ambiente de integração e proximidade que fez desta cidade uma segunda casa.

A todos, do fundo do coração, muito obrigado!

Resumo

A presente dissertação investiga o impacto da Inteligência Artificial (IA) na prática arquitetónica contemporânea, analisando o seu papel enquanto instrumento de apoio ao processo projetual. Partindo de um enquadramento teórico que aborda a evolução da IA e a sua relação com a arquitetura, o estudo propõe uma classificação funcional das ferramentas disponíveis, organizando-as segundo a sua aplicação no processo de projeto.

Com base nesta categorização, são realizados testes práticos a diferentes tipologias de IA, incluindo geração de imagem, refinamento visual e modelação espacial. A análise incide na capacidade destas ferramentas em interpretar instruções, produzir representações coerentes e contribuir para a comunicação e desenvolvimento do projeto arquitetónico.

A metodologia combina uma avaliação técnica conduzida pelo investigador com uma avaliação externa realizada por estudantes de arquitetura, permitindo uma leitura comparativa e crítica dos resultados.

Conclui-se que a IA não substitui o arquiteto, mas redefine progressivamente o seu papel no processo de projeto. Os resultados evidenciam o potencial destas ferramentas para apoiar a prática arquitetónica, ao mesmo tempo que revelam limitações técnicas e diferentes níveis de maturidade entre as tipologias analisadas.

Palavras chave: Inteligência Artificial, Representação Arquitetónica, *Prompt Engineering*, Ferramentas generativas e Avaliação de Sistemas de IA

Abstract

This dissertation investigates the impact of artificial intelligence on contemporary architectural practice, analysing its role as a supporting tool within the design process. Based on a theoretical framework that explores the evolution of artificial intelligence and its relationship with architecture, the study proposes a functional classification of available tools, organising them according to their application within the architectural workflow.

Following this classification, practical tests are conducted on different types of artificial intelligence, including image generation, image refinement, and spatial modelling systems. The analysis focuses on the ability of these tools to interpret *input* instructions, generate coherent *outputs*, and contribute to both the communication and development of architectural proposals.

The methodology combines a controlled technical evaluation carried out by the researcher with an external qualitative assessment performed by architecture students, enabling a comparative and critical interpretation of the results.

It is concluded that AI does not replace the architect, but progressively redefines their role within the design process. The results highlight the potential of these tools to support architectural practice, while also revealing technical limitations and different levels of maturity across the typologies analysed.

Key words: Artificial Intelligence, Architectural Representation, *Prompt* Engineering, Generative tools and Evaluation of AI Systems

Glossário de IA e Termos Técnicos

AGI - Artificial General Intelligence

IA que pode realizar qualquer tarefa intelectual que um ser humano conseguiria, possuindo compreensão e raciocínio independentes. Ainda é um conceito teórico, pois considera-se que nenhuma *AGI* funcional foi criada até hoje. "Neste momento, a *AGI* continua a estar ainda muito distante de ser alcançada. “Os únicos “exemplos” de *AGI* existentes atualmente pertencem ao domínio da ficção, como personagens cinematográficas, entre as quais Agent Smith, de *The Matrix*, ou Ava, de *Ex Machina*." (Leach, 2022, p. 36, tradução própria)

ANI - Artificial Narrow Intelligence

IA projetadas para realizar tarefas específicas, como reconhecimento facial, assistentes de voz e diagnóstico médico. Diferente da *AGI*, não possui consciência nem compreensão “ampla”. “Os sistemas racionais continuam a ser os sistemas predominantes que os atuais protocolos de projeto conseguem reproduzir. Assim, a *Weak/Narrow AI*, *ANI* corresponde ao tipo de IA que, atualmente, conseguimos efetivamente alcançar." (Correa, 2022, p. 21, tradução própria)

ANN – Artificial Neural Network

Modelos de processamento de informação compostos por "neurónios" (unidades de processamento) e "sinapses" (conexões) que controlam o fluxo de informação. Embora inspiradas no cérebro humano, as *ANN* são modelos matemáticos e não devem ser diretamente equiparadas aos neurónios biológicos ou à consciência humana. A aprendizagem nas *ANN* envolve o ajuste de pesos através de um processo de "*feedforward*" (fluxo de dados do *input* para o *output*) e "backpropagation" (ajuste de pesos com base no *feedback*). "Quando surgiram pela primeira vez, as *Artificial Neural Network* foram concebidas como uma descrição algorítmica do comportamento das redes neuronais do cérebro humano. (...) Estas conseguem transmitir informação para qualquer parte da rede, tanto no sentido direto como inverso do fluxo de informação, permitindo um número significativamente maior de estados de atividade da rede, consequentemente, uma maior complexidade no processamento da informação." (Campo, 2022, p. 51, tradução própria)

CNN - Convolutional Neural Networks

Modelo de rede neural projetado para processar dados com estrutura matricial, como imagens. São amplamente utilizadas em visão computacional, reconhecimento facial e classificação de imagens. "Existem vários tipos diferentes de redes neuronais. Com o desenvolvimento do *Deep Learning*, as *Convolutional Neural Networks* tornaram-se cada vez mais populares, especialmente na classificação de imagens. O termo “*Convolutional”* refere-se ao cálculo realizado por cada camada com base na camada anterior." (Leach, 2022, p. 45, tradução própria)

Dataset

Conjunto estruturado de dados utilizado para treinar, validar ou testar modelos de IA. A qualidade, diversidade e dimensão do *dataset* influenciam diretamente o desempenho e a capacidade de generalização dos modelos de IA.

Diffusion Models

Modelos generativos de IA que produzem imagens através de um processo gradual de remoção de ruído de uma distribuição aleatória, permitindo gerar conteúdos visuais coerentes e detalhados a partir de descrições textuais (NVIDIA, 2024).

Deep Learning

Subcampo do *machine learning* que utiliza redes neurais para inferir padrões em grandes volumes de dados. É a base de muitas das aplicações modernas de IA, como reconhecimento de voz e processamento de imagens. "Kelleher define *Deep Learning* como o "subcampo do *machine learning* que concebe e avalia algoritmos de treino e arquiteturas para modelos modernos de redes neuronais"." (Leach, 2022, p. 38, tradução própria)

DNN - Deep Neural Networks

Um desenvolvimento relativamente recente dentro da aprendizagem de máquina, que é a forma mais promissora de IA atualmente (Leach, 2022, p. 37). O termo "profunda" refere-se à crescente complexidade dos modelos de IA pela adição de mais camadas de neurónios artificiais (por vezes, mais de 1000 camadas) nas suas arquiteturas. As *DNN* imitam a plasticidade cerebral e são capazes de "receber", "dar" e "explodir" formas. "Atualmente, quando alguém menciona IA, é muito provável que se esteja a referir a *Deep Learning*, termo que deriva do elevado número de camadas existentes numa rede neuronal, por vezes superior a 1.000. Uma rede neuronal é composta por "neurónios" e "sinapses", os mesmos termos utilizados para descrever o cérebro humano. No entanto, devemos ter o cuidado de não estabelecer uma equivalência direta entre ambos." (Campo, 2022, p. 8, tradução própria).

Expert Systems (Sistemas Especialistas)

Sistemas computacionais baseados em regras pré-definidas (*if–then*), concebidos para simular decisões especializadas, sem capacidade autónoma de aprendizagem.

GAN - Generative Adversarial Networks

Uma técnica de síntese de imagem primeiramente proposta por Ian Goodfellow em 2014, que se tornou muito popular entre arquitetos. Uma *GAN* é composta por dois modelos concorrentes, um "gerador" que cria imagens sintéticas e um "discriminador" que avalia a sua autenticidade. Este processo de concorrência e feedback permite a melhoria progressiva da qualidade das imagens geradas. Podem gerar dados em múltiplos formatos, incluindo imagens e gráficos. "As *GAN* utilizam dois modelos concorrentes, um "gerador" (*generator*) e um "discriminador" (*discriminator*), para orientar o processo de aprendizagem." (Chaillou, 2022, p. 72, tradução própria)

GAs - Genetic Algorithms

Método de otimização inspirado na seleção natural, onde soluções são evoluídas ao longo de várias gerações para resolver problemas complexos. Muito usado em design computacional e IA. "Os defensores da abordagem evolucionária depositam a sua confiança na programação genética, que melhora progressivamente ao longo de sucessivas gerações, de forma semelhante ao próprio processo de seleção natural." (Leach, 2022, p. 41, tradução própria)

Generative AI

Refere-se a modelos e técnicas de IA capazes de gerar conteúdos, incluindo texto, imagem, áudio, vídeo ou modelos tridimensionais. Ao contrário dos sistemas focados apenas na classificação ou reconhecimento de padrões, a *Generative AI* produz novos dados a partir do conhecimento adquirido durante o processo de treino, sendo atualmente uma das principais tecnologias utilizadas na geração de imagens arquitetónicas.

GNN - Graph Neural Networks

Uma área de pesquisa em aprendizagem de máquina cujo propósito é processar dados de grafo, ou seja, informações formatadas como coleções de nós e conexões. São utilizadas em tópicos que exigem informação topológica, como moléculas, estruturas ou programas arquitetónicos. (Chaillou, 2022, p. 72)

GOFAI - Good Old-Fashioned AI

Expressão usada para descrever os primeiros modelos de IA baseados em regras e lógica simbólica, comuns antes da aprendizagem profunda. (Leach, 2022, p. 37)

HCI - Human-Computer Interaction

Campo de estudo dedicado à interação entre seres humanos e sistemas computacionais, centrado no desenvolvimento de interfaces mais intuitivas e eficientes. (Correa, 2022, p. 20)

Heurística

Método de tomada de decisão baseado em regras aproximadas e estratégias intuitivas, em vez de cálculos exatos. Usado para encontrar soluções rápidas e eficientes para problemas complexos, muitas vezes aplicadas em IA para otimização e busca.

Hybrid AI

Combina diferentes abordagens, como IA simbólica e redes neurais, para aproveitar o melhor de cada método. Usada em aplicações que exigem raciocínio lógico e aprendizagem estatística. Muitas das IA atualmente são híbridas, pois usam várias vertentes de funcionamento. (Campo, 2022, p. 27)

IA (Inteligência Artificial)

Designa sistemas computacionais que executam tarefas associadas a capacidades cognitivas humanas, como análise, aprendizagem ou tomada de decisão, introduzindo algum grau de autonomia no processo.

Input

Informação, instrução ou conjunto de dados fornecido a um sistema de IA para processamento, podendo assumir a forma de texto, imagem, modelo tridimensional, parâmetros, comandos ou qualquer outro conteúdo utilizado para orientar ou desencadear a geração de um resultado.

LLM - Large Language Model

Modelos de IA treinados em grandes quantidades de texto para processar e gerar linguagem natural. Exemplos incluem o *GPT*, *BERT* e *PLM*, usados em *chatbots*, tradução automática e assistentes virtuais.

Machine Learning

Conjunto de técnicas que permitem aos sistemas aprender padrões a partir de dados, ajustando o seu comportamento sem programação explícita para cada tarefa.

Output

Resultado produzido por um sistema de IA em resposta a um determinado *input*, podendo assumir a forma de texto, imagem, modelo tridimensional, classificação ou qualquer outro conteúdo gerado pelo sistema.

Prompt Engineering

Prática de formulação e ajuste estratégico de *prompts* com o objetivo de orientar o comportamento da IA e melhorar os resultados gerados.

Prompt

Instruções fornecidas pelo utilizador à IA, de natureza textual, visual ou paramétrica, que definem a intenção e os limites do *output*.

Renderização

Processo de geração de imagens a partir de modelos tridimensionais ou dados geométricos, integrando informação de materiais, iluminação e ambiente.

Tipologias de IA - Categoria analítica utilizada para agrupar IA segundo a sua função principal no processo arquitetónico, permitindo uma leitura comparativa entre ferramentas.

Índice

Glossário de IA e Termos Técnicos xi
Lista de figuras xvii
Introdução 1
1 IA 5
1.1 História da IA 5
1.1.1 IA no campo da ficção e da filosofia 5
1.1.2 Desenvolvimento da computação como precursor da IA 7
1.1.3 Sec XXI, o fim do "Inverno da IA" 9
1.2 As várias dimensões da IA 11
1.2.1 Organização hierárquica da IA 11
1.2.2 Paradigmas e abordagens da IA 13
1.2.3 Capacidades e limitações da IA 16
1.2.4 Funcionamento e aprendizagem das redes neuronais 19
1.3 Inteligência e Arquitetura 21
2 Critérios de seleção das IA 27
2.1 Seleção das IA 27
2.2 Categorização das IA 30
2.3 Seleção e Justificação das Ferramentas de IA Analisadas 32
3 Teste das diferentes IA 35
3.1 Metodologia 35
3.1.1 Tipo 1 37
3.1.2 Tipo 2 39
3.1.3 Tipo 3 41
3.1.4 Tipo 4 43
3.2 Análise de sensibilidade 47
3.2.1 Tipo 1 47
3.2.2 Tipo 2 49
3.2.3 Tipo 3 51
3.2.4 Tipo 4 55
3.3 Interpretação dos Resultados do Questionário 62
4 Projeções futuras da IA na Arquitetura 63
4.1 Limitações atuais e potencial ainda não explorado 63
4.2 Perspetivas futuras da IA na prática arquitetónica 64
Referências (APA) 70

Lista de figuras

Figura 1 Relação hierárquica entre IA Machine Learning e Deep Learning. (Leach, 2022, p. 37)..... 11

Figura 2 Organização simplificada dos principais domínios da IA (Chaillou, 2022, p. 64)..... 12

Figura 3 Mapa dos paradigmas, métodos e domínios da IA. (Correa, 2022, p. 18)..... 13

Figura 4: Comparação entre as principais abordagens tecnológicas IA. (Bernstein, 2022, p. 18)..... 14

Figura 5 Taxonomia de Bloom (Bernstein, 2022, p. 48)..... 16

Figura 6 Esquema demonstrativo de uma Artificial Neural Network — ANN (Chaillou, 2022, p. 69)..... 19

Figura 7 Processo de aprendizagem numa rede neuronal artificial através das fases de feedforward e backpropagation (Chaillou, 2022, p. 70)..... 20

Figura 8 Evolução da investigação em desenho computacional e arquitetura digital (1962–2015) (Caetano et al., 2019, p. 289)… 21

Figura 9 Evolução da representação arquitetónica e dos níveis de automação, desde o desenho analógico até à integração da IA (Bernstein, 2022, p. 11)..... 23

Figura 10 - Classificação e caracterização das ferramentas de IA analisadas, segundo tipologia funcional e critérios operativos..... 29

Figura 11 Representação arquitetónica gerada pelo Midjourney no âmbito dos ensaios realizados às IA de Tipo 1 – Geração Conceptual de Imagem..... 47

Figura 12 Resultado obtido no ensaio das IA de Tipo 2 – Refinamento e Renderização de Imagem, evidenciando à esquerda a imagem refinada pelo Nano Banana e à direita a representação original utilizada como input..... 49

Figura 13 Perspetiva tridimensional gerada pelo Architechtures no âmbito dos ensaios realizados às inteligências artificiais de Tipo 3 – Criação e Modelação Espacial..... 51

Figura 14 Corte arquitetónico produzido pelo Architechtures no âmbito do ensaio de Tipo 3, evidenciando a organização vertical e distribuição espacial da proposta gerada automaticamente..... 53

Figura 15 Planta arquitetónica gerada pelo Architechtures a partir do programa funcional definido para o ensaio de Tipo 3 – Criação e Modelação Espacial..... 53

Figura 16 Resultado tridimensional do primeiro ensaio realizado com o Raven, evidenciando a geração automática de uma torre paramétrica com rotação progressiva dos pisos..... 54

Figura 17 Grafo paramétrico gerado automaticamente pelo Raven em ambiente Grasshopper para a criação da torre espiralada, incluindo parâmetros de altura, rotação e raio da geometria..... 55

Figura 18Grafo paramétrico após intervenção manual do investigador, incluindo a introdução de um parâmetro adicional para controlo do número de lados do polígono base da torre..... 56

Figura 19 Geometria inicial da cobertura ondulada gerada pelo Raven no âmbito do segundo ensaio de Tipo 4 – Criação de Modelos Paramétricos..... 57

Figura 20 Grafo paramétrico gerado automaticamente pelo Raven para a criação de uma cobertura ondulada suportada por grelha estrutural..... 58

Figura 21 Sistema estrutural da cobertura após introdução manual de pilares cilíndricos parametrizados, complementando a definição originalmente produzida pelo Raven..... 60

Figura 22 Grafo paramétrico após intervenção manual do investigador, incluindo controlo paramétrico da altura da cobertura, espessura volumétrica e materialização estrutural dos pilares..... 60

Figura 23: Comparação dos desempenhos médios das ferramentas de IA dos Tipos 1, 2 e 3 segundo os critérios de avaliação definid..... 61

Introdução

Motivação

A prática arquitetónica atravessa atualmente um momento de transição paradigmática, em que a inteligência artificial (IA) emerge como um dos instrumentos mais transformadores desde a introdução do *computer aided design* (*CAD*). A arquitetura, enquanto disciplina que sempre conciliou arte, técnica e pensamento crítico, encontra-se agora diante de uma nova geração de ferramentas que desafiam a sua própria metodologia. "Arquitetura na era da inteligência artificial" propõe, assim, uma reflexão sobre esta mudança de paradigma, em que o ato de projetar deixa de ser exclusivamente humano para se tornar um processo híbrido, mediado por sistemas capazes de aprender, prever e gerar soluções complexas.

Esta investigação parte do reconhecimento de que a IA não constitui apenas uma inovação tecnológica, mas uma força capaz de redefinir a relação entre o arquiteto e as suas ferramentas. Através da análise das novas plataformas de criação, modelação e visualização baseadas em algoritmos, pretende-se compreender até que ponto estas tecnologias ampliam e reconfiguram, o papel do arquiteto no processo criativo e construtivo.

A expressão "análise sobre uma nova geração de ferramentas" sublinha a intenção de examinar criticamente o potencial e os limites destas tecnologias, observando de que forma influenciam a conceção espacial, a sustentabilidade e a própria identidade autoral do arquiteto. Tal como outrora o *CAD* e a modelação digital transformaram a prática, a IA inaugura uma nova era em que o processo arquitetónico se torna mais colaborativo e iterativo.

Deste modo, esta tese não pretende apenas discutir o impacto técnico das IA na arquitetura, mas também refletir sobre as implicações éticas, criativas e metodológicas que advêm da sua utilização. A questão central que se coloca é se estaremos perante uma simples evolução das ferramentas de projeto ou perante o início de uma nova forma de "inteligência projetual", uma coautoria entre humano e máquina que redefine simultaneamente o presente e o futuro da profissão.

A motivação para a realização deste trabalho nasce da inquietação crescente entre profissionais tanto novos quanto experientes sobre o impacto da IA na arquitetura. A preocupação não se limita à possibilidade de substituição do arquiteto, mas estende-se à potencial perda de rigor e qualidade nos projetos, num contexto em que o avanço tecnológico nem sempre se traduz em melhoria proporcional da prática profissional. Com os progressos registados nos últimos cinco anos, e a rápida disseminação de modelos de IA generalistas como o *Midjourney*, o *DALL-E 4*, o *ChatGPT*, ou focados na arquitetura, como *PromeAI*, *Architechtures* e *XKoo*, a discussão sobre o papel dessas ferramentas no processo criativo e técnico da arquitetura tornou-se incontornável.

Nos últimos cinco anos, a IA deixou de ser um recurso periférico para se tornar um agente central em múltiplas profissões. Embora a IA exista há décadas, a sua presença era antes limitada a sistemas pouco flexíveis e com funções específicas. Exemplos como os motores de xadrez baseados em algoritmos heurísticos, ou os assistentes de voz como *Siri*, *Alexa* e *Google Assistant* (que operavam com respostas pré-programadas e funcionalidades restritas), ilustram uma fase anterior, menos sofisticada e com impacto reduzido na prática profissional e criativa.

Com o surgimento dos *Large Language Models* (*LLMs*), como o *ChatGPT-4o* (2024), e de modelos generativos multimodais como o *Midjourney v6* (2025), testemunha-se uma nova era em que a IA assume capacidades criativas, interpretativas e produtivas que se aproximam (e por vezes simulam) as da inteligência humana. Na arquitetura, plataformas como o *Spacemaker/Autodesk Forma* aplicam IA para otimizar volumetrias, eficiência energética e simulações de conforto urbano, otimizando o processo de projeto. Paralelamente, a aprovação do "*EU AI Act"* (União Europeia, 2024) sinaliza que a sociedade encara estas tecnologias não só como ferramentas promissoras, mas também como potenciais fontes de risco ético e laboral.

Objetivos

A investigação propõe analisar de que forma os recentes avanços em IA estão a reconfigurar o papel do arquiteto. A investigação propõe-se a analisar a IA enquanto instrumento de apoio à prática profissional, questionar se estas tecnologias devem ser entendidas como extensões das capacidades humanas, (tal como aconteceu com o surgimento do *CAD* nos anos 80), ou se representam uma mudança mais profunda nos modelos de autoria, criatividade e responsabilidade.

A presente investigação procura ainda demonstrar como os profissionais de arquitetura podem atualizar-se e adaptar a esta nova realidade tecnológica, explorando as potencialidades da IA para agilizar e otimizar o processo de projeto. Mais do que adotar uma posição determinista, este trabalho visa também avaliar o ponto de maturidade destas ferramentas, medir a sua eficácia atual, identificar as suas limitações práticas e investigar o impacto real que podem já estar a ter no exercício da arquitetura contemporânea.

Para tal, a investigação propõe-se a identificar, classificar e analisar os diferentes **tipos** de IA atualmente disponíveis, distinguindo-os com base nas suas funções e modos de aplicação na prática arquitetónica.

Partindo do princípio de que a IA veio para ficar, o desafio consiste em integrar estas ferramentas de forma crítica e estratégica, com o intuito de garantir que o seu uso valoriza e reforça a prática arquitetónica.

Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho tem como principal objetivo avaliar a utilidade prática das ferramentas de IA aplicadas à arquitetura, através de uma análise funcional, técnica e comparativa.

O primeiro passo consistiu em reunir um conjunto representativo de ferramentas de IA que possam, de forma direta ou indireta, contribuir para o exercício da prática arquitetónica, seja na fase conceptual, no desenvolvimento de projeto, na visualização (ex: renderização/Processamento gráfico), ou em qualquer outra etapa do processo.

Em seguida, essas ferramentas foram agrupadas segundo a sua função predominante, criando-se assim **tipos** operacionais. Cada ferramenta será inserida num dos grupos (**Tipo 1**, **Tipo 2**, **Tipo 3**, etc.), consoante o foco principal da sua aplicação.

Numa primeira fase, procedeu-se à recolha e seleção de diversas ferramentas de IA com potencial aplicação na arquitetura. Com base nas suas características funcionais, foi realizada uma primeira análise exploratória que permitiu definir os critérios de classificação e estabelecer os tipos operacionais adotados ao longo da dissertação.

Posteriormente, foram realizados testes práticos com cada ferramenta e submetidos a avaliação de forma criteriosa.

Estrutura da dissertação

O presente trabalho estrutura-se em quatro partes complementares, que se articulam entre si de forma progressiva. Numa primeira fase, foi desenvolvida uma introdução teórica, onde se define o conceito de IA e se enquadra a sua aplicação no campo da arquitetura. Esta base conceptual sustenta a segunda parte, dedicada à apresentação da classificação elaborada, na qual se descrevem e distinguem os diferentes tipos de ferramentas identificados. A terceira parte assume um caráter empírico, analisando os testes realizados com as ferramentas selecionadas. A avaliação das ferramentas baseou-se na aplicação de cenários de teste previamente definidos, concebidos para reproduzir tarefas representativas da prática arquitetónica. Os resultados obtidos foram posteriormente analisados através de um conjunto de métricas relacionadas com a qualidade, fidelidade, adequação ao objetivo proposto e coerência das soluções produzidas. Paralelamente, foi realizada uma avaliação externa através de questionários dirigidos a arquitetos e estudantes de arquitetura, permitindo complementar a análise técnica com uma perspetiva crítica dos utilizadores. Estes resultados permitem validar e justificar as decisões tomadas na fase anterior, assegurando a coerência da categorização proposta. Por fim, a quarta parte dedica-se à interpretação crítica dos resultados obtidos e à reflexão sobre o potencial, as limitações e as perspetivas futuras da IA na prática arquitetónica, procurando compreender de que modo estas ferramentas podem efetivamente auxiliar o arquiteto no seu processo criativo e profissional.

Após esta classificação funcional, foram analisados outros parâmetros relevantes para a avaliação comparativa, tais como: tipo de IA subjacente (ex: *Artificial Narrow Intelligence* (*ANI*), *Artificial General Intelligence* (*AGI*), *Convolutional Neural Network* (*CNN*) , entre outras), motor funcional utilizado (*browser* ou aplicação), o grau de exigência técnica para o utilizador nível de especialização necessário, nível de controlo e personalização oferecido, qualidade dos resultados obtidos, precisão e custo associado à sua utilização.

Com base nesta análise sistemática, o estudo pretende obter dados concretos que permitam compreender o real potencial destas ferramentas no contexto da arquitetura contemporânea, estabelecendo critérios objetivos para a sua avaliação e integração prática.

Complementarmente, a presente dissertação é acompanhada por um volume de apêndice que reúne os instrumentos de recolha de dados, os resultados obtidos através dos questionários, bem como documentação adicional considerada relevante para a compreensão, validação e transparência do processo de investigação.

A organização do trabalho não segue estritamente a ordem cronológica das tarefas realizadas, mas foi estruturada de forma a facilitar a compreensão do leitor. Esta estrutura visa não apenas explicar a metodologia adotada, mas também justificar criticamente a pertinência e aplicabilidade das ferramentas analisadas no contexto da prática arquitetónica.

1 IA

1.1 História da IA

1.1.1 IA no campo da ficção e da filosofia

O conceito de IA pode ser abordado a partir de múltiplas perspetivas. Muito antes da sua formalização científica no século XX, já se encontram representações de entidades artificiais dotadas de inteligência em registos literários e ficcionais. Um exemplo é o romance "Frankenstein Ou Prometeu Moderno" (titulo original "*Frankenstein: or, The Modern Prometheus*"), escrito por Mary Shelley em 1818, considerado uma das primeiras obras de ficção científica. A narrativa acompanha a experiência de Victor Frankenstein, um cientista movido por ambição, que concebe e dá vida a uma criatura artificial. Esta entidade, embora não tenha origem natural, revela um grau de inteligência extraordinário, configurando-se assim como uma antecipação literária da problemática da inteligência não-humana e fabricada. Nesse sentido, Shelley inaugura um imaginário que associa a técnica à criação de formas de vida artificiais (Shelley, 1818).

No âmbito da reflexão filosófica sobre a IA, é possível identificar em Aristóteles e Leibniz dois precursores fundamentais. As suas contribuições no domínio da lógica e da formalização do pensamento constituem marcos teóricos que, embora distantes no tempo, convergem na possibilidade de compreender a razão humana como processo passível de ser estruturado e, em última instância, mecanizado.

Aristóteles, ao desenvolver a lógica silogística, instituiu a primeira sistematização formal do raciocínio dedutivo. A sua proposta não apenas estabeleceu um modelo de inferência que orientou a filosofia e as ciências durante séculos, como também antecipou a noção de que o pensamento humano poderia ser traduzido em regras claras e reproduzíveis. A lógica aristotélica encontra ressonância direta nas primeiras abordagens da IA, em particular nos sistemas baseados em regras e na programação lógica, que procuravam replicar a dedução humana por meio de algoritmos. Do ponto de vista epistemológico (isto é, relativo à teoria do conhecimento e à forma como este é adquirido), Aristóteles defendeu que o conhecimento se constrói a partir da experiência empírica, ideia que encontra paralelismo nos atuais métodos de *machine learning*, cuja aprendizagem depende da análise de grandes volumes de dados (Leach, 2022, p. 64).

Por sua vez, Gottfried Wilhelm Leibniz, no século XVII, aprofundou esta trajetória ao propor a *characteristica universalis* e o *calculus ratiocinator*, conceitos que visavam estabelecer uma linguagem lógica e simbólica capaz de expressar o pensamento humano de forma racional e sistemática. A primeira seria uma linguagem simbólica universal, capaz de representar de forma precisa qualquer proposição ou raciocínio, o segundo, um método de cálculo que permitiria resolver disputas intelectuais através de operações formais. A ideia de Leibniz de que, perante um conflito teórico, bastaria enunciar "*Calculemus!*" sintetiza a sua ambição de reduzir o raciocínio humano a um procedimento mecânico. Nesse sentido, Leibniz antecipa não apenas a computação simbólica, mas também a própria noção de algoritmo como fundamento da racionalidade da máquina(Leach, 2022, p. 64).

No panorama atual da reflexão sobre a IA, o contributo de Margaret Boden, uma das principais referências no campo da filosofia da mente e da IA, apresenta no livro "*AI: Its Nature and Future"* (2016) uma reflexão abrangente sobre a natureza e o futuro da IA. Logo no primeiro capítulo, intitulado "*What is Artificial*

Intelligence?", a autora inicia a discussão com a seguinte afirmação: "A IA procura fazer com que os computadores realizem o tipo de tarefas que a mente humana é capaz de executar" (Boden, 2016, p. 1, tradução própria). Podemos inferir, a partir desta definição, que a sua visão da IA não se restringe a uma conceção meramente técnica, mas antes a uma aproximação entre máquinas e processos cognitivos humanos. Para Boden, o objetivo da IA não é simplesmente executar cálculos mais rápidos ou automatizar tarefas mecânicas, mas sim explorar até que ponto as máquinas podem reproduzir funções mentais como o raciocínio, a perceção, a aprendizagem ou a tomada de decisão.

Ainda no mesmo capítulo, Boden acrescenta: "A inteligência não constitui uma dimensão única, mas sim um espaço complexamente estruturado composto por diversas capacidades de processamento de informação. Consequentemente, a IA utiliza múltiplas técnicas distintas, direcionadas para diferentes tipos de tarefas" (Boden, 2016, p. 1, tradução própria). Esta passagem revela uma perspetiva pluralista da autora sobre a inteligência, entendida não como uma capacidade linear e unidimensional, mas como um conjunto diverso e articulado de competências de processamento de informação. Assim, podemos compreender que a visão de Boden em relação à IA é igualmente multifacetada: tal como a mente humana é composta por diferentes funções cognitivas, também a IA deve recorrer a múltiplas abordagens e técnicas, simbólicas, estatísticas, entre outras, para lidar com a variedade de problemas que enfrenta.

1.1.2 Desenvolvimento da computação como precursor da IA

O desenvolvimento da IA não surgiu de forma isolada, mas assenta sobre os princípios fundamentais da computação, delineados por alguns dos seus primeiros visionários. Considera-se que figuras como Charles Babbage, (inventor do *Difference Engine* e da *Analytical Engine)* e Augusta Ada King, Condessa de Lovelace (Ada Lovelace), que colaborou com ele e é frequentemente vista como uma das primeiras programadoras de computador, contribuíram para o desenvolvimento da computação. As suas ideias, desenvolvidas entre as décadas de 1820 e 1840, estabeleceram fundamentos que mais tarde inspirariam o desenvolvimento da IA.

Neste contexto, a reflexão sobre o papel destes pioneiros abre caminho para compreender a visão de Alan Turing, foi a primeira pessoa a abordar verdadeiramente o potencial de uma forma artificial de inteligência. Em 1936 Turing escreveu o artigo "*On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem*", (publicado em 1937), onde estabeleceu as bases conceptuais para a computação como a conhecemos, descrevendo o que chamou de "*a-machine*" ou "máquina automática", que mais tarde ficou conhecida como a Máquina de Turing (Turing, 1937).

Mais tarde um marco relevante no desenvolvimento da IA ocorreu em 1943, quando o matemático Walter Pitts e o neurofisiologista Warren McCulloch conceberam um modelo computacional primitivo baseado em redes neurais inspiradas no funcionamento do cérebro humano. A sua proposta consistiu em articular três domínios distintos, mas complementares: a lógica binária da máquina de Turing, a estrutura verdadeiro/falso da lógica proposicional sistematizada por Bertrand Russell e a dinâmica de ativação *on/off* das sinapses neurais descritas pelo neurofisiologista e ciberneticista Charles Sherrington. Como observa Margaret Boden, esta convergência traduziu-se na correspondência entre os valores de verdade da lógica, a atividade sináptica dos neurónios e os estados 0/1 das máquinas de Turing, configurando assim uma das primeiras tentativas de aproximação conceptual entre os processos cognitivos humanos e os mecanismos computacionais (Leach, 2022, p. 68).

Em 1950, Turing ganha outra vez protagonismo e publica o artigo "*Computing Machinery and Intelligence*", especulando sobre a possibilidade de desenvolver máquinas que pudessem pensar e descrevendo uma técnica para julgar se a inteligência de uma "máquina pensante" poderia igualar a dos seres humanos, o "Jogo da Imitação", posteriormente conhecido como “Teste de Turing” (Turing, 1950).

Outro evento ganha relevância em 1956, *Workshop de Dartmouth* é considerado o momento crucial para a definição, adoção e cunhagem do termo "Inteligência Artificial". Proposto por John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester e Claude Shannon (McCarthy et al., 1955).

A proposta do workshop partia da premissa de que "qualquer aspeto da aprendizagem ou da inteligência pode ser descrito com tanta precisão que uma máquina pode ser construída para o simular" (McCarthy et al., 1955, tradução própria). Os investigadores reunidos, pretendiam explorar como as máquinas poderiam utilizar a linguagem, formar abstrações e conceitos, resolver problemas tradicionalmente reservados aos humanos e até melhorar o seu próprio desempenho. Esta visão estabeleceu não apenas a utilização do cérebro humano como modelo para a lógica das máquinas, mas também definiu as primeiras linhas de investigação que viriam a moldar as décadas seguintes do desenvolvimento da IA, após o *workshop*, seguiu-se um período de euforia e intensa investigação (Leach, 2022, p. 62).

O desenvolvimento do *Perceptron*, proposto em 1958 pelo psicólogo norte-americano Frank Rosenblatt, constituiu um marco fundamental na história da IA e das redes neurais artificiais. Concebido no *Cornell Aeronautical Laboratory* através de hardware especializado, o *Perceptron* tinha como propósito demonstrar que seria teoricamente possível representar informação visual mediante o "ensino" de um *fac-símile* digital rudimentar de um neurónio humano, tornando o conhecimento humano passível de ser codificado num formato acessível e manipulável computacionalmente. A proposta de Rosenblatt inscreve-se numa genealogia que remonta a 1943, com o modelo de neurónios artificiais de Walter McCulloch e Walter Pitts, inspirado pela forma como o cérebro humano processa informação. O *Perceptron* foi desenhado como uma rede organizada em camadas, capaz de classificar imagens através de um processo de aprendizagem iterativo, no qual ajustava os seus parâmetros internos por tentativa e erro, introduzindo assim um mecanismo de *feedback* autocorretivo que lhe permitia melhorar progressivamente a precisão das suas previsões. Embora inicialmente recebido com entusiasmo e alimentando expectativas de avanços disruptivos, o modelo revelou limitações significativas, tendo sido objeto de críticas incisivas por parte de Marvin Minsky e Seymour Papert no seu livro *Perceptrons* (1969). A incapacidade do *Perceptron* resolver problemas não-lineares mais complexos levou a uma diminuição no investimento e no entusiasmo na área, episódio que ficaria conhecido como o primeiro "Inverno da IA".

1.1.3 Sec XXI, o fim do "Inverno da IA"

O período abordado neste subcapítulo corresponde ao final do chamado segundo "Inverno da IA", uma fase de estagnação que sucedeu ao declínio dos *Expert Systems*, paradigma dominante nas décadas anteriores. É neste contexto que os avanços tecnológicos do início do século XXI permitem o ressurgimento da IA e o desenvolvimento das abordagens que sustentam a IA contemporânea (Chaillou, 2022, p. 25).

A *Deep Learning*, uma categoria dentro da aprendizagem de máquina, tornou-se o foco principal a partir da década de 2010. A "profundidade" refere-se à complexidade crescente dos modelos de IA com a adição de mais camadas de neurónios artificiais às suas arquiteturas, permitindo extrair padrões cada vez mais abstratos e sofisticados a partir de grandes volumes de dados, criando condições para o surgimento de modelos de larga escala, como os *LLM*, que hoje moldam práticas científicas, criativas e profissionais em múltiplas áreas, incluindo a arquitetura.

O desenvolvimento das *Generative Adversarial Networks* (*GAN*) por Ian Goodfellow em 2014 representou um marco decisivo na IA, ao introduzir um modelo baseado na competição entre duas redes neurais: o gerador, responsável por criar dados, e o discriminador, encarregado de avaliar se esses dados são reais ou sintéticos. Esse processo *Adversarial* (de adversariedade, tradução própria), em que as duas redes "aprendem" uma com a outra, permitiu um salto qualitativo na capacidade de gerar imagens com um realismo sem precedentes. O potencial desta abordagem foi amplamente demonstrado com o *StyleGAN*, desenvolvido pela *Nvidia Research* em 2018, que trouxe avanços significativos no controlo do estilo e da qualidade das imagens geradas, chegando a criar rostos humanos indistinguíveis da realidade. Desde então, variantes como o *StyleGAN2* (2019) e o *StyleGAN3* (2021) refinaram ainda mais a fidelidade visual, com maior consistência estrutural e detalhe, abrindo caminho a aplicações que vão da indústria criativa ao desenho arquitetónico, mas também levantando debates éticos sobre "*deepfakes*" e manipulação visual. Neste sentido, as *GAN* não só transformaram a prática da geração de imagens, como também desempenharam um papel central na popularização da IA enquanto ferramenta de criação artística e visual (Chaillou, 2022, p. 30).

Os *Large Language Models* (*LLM*) representam uma das mais significativas evoluções recentes da IA, baseados na arquitetura *"Transformer"* apresentada em 2017 no artigo *"Attention is All You Need"* (Vaswani et al., 2017). A sua capacidade de processar e gerar linguagem natural em grande escala superou limitações de modelos anteriores, como as *Recurrent Neural Networks* (*RNN*), que introduziram a noção de memória em dados sequenciais, mas sofriam com perda de contexto em sequências longas, e as *Long Short-Term Memory (LSTM),* uma variante que incorporou mecanismos de portas de memória capazes de preservar dependências de longo prazo *(Goodfellow, Bengio & Courville, 2016)*. Entre os primeiros marcos destaca-se o *BERT* (Google, 2018), focado na compreensão textual, seguido pelo *GPT-3 (OpenAI, 2020)*, que demonstrou resultados expressivos em tarefas complexas de geração textual com 175 mil milhões de parâmetros. Contudo, foi em novembro de 2022, com o lançamento do *ChatGPT*, baseado no *GPT-3.5*, que ocorreu a verdadeira popularização dos *LLM*. Graças ao treino com *instruction tuning* e *reinforcement learning (RL),* aliado a uma interface simples de *chat* acessível via navegador, a ferramenta tornou-se num fenómeno global, alcançando um milhão de utilizadores em apenas cinco dias. Apesar de não ter sido o primeiro *LLM*, o *ChatGPT* assumiu um caráter revolucionário ao democratizar o acesso à IA, introduzir um novo paradigma de interação conversacional e desencadear um impacto cultural e económico de grande escala, ao ponto de acelerar a competição entre empresas tecnológicas e consolidar a IA como ferramenta do quotidiano (Brown et al., 2020).

1.2 As várias dimensões da IA

1.2.1 Organização hierárquica da IA

A crescente complexidade do campo da IA tornou necessária a criação de diferentes modelos de classificação e organização conceptual. Estes modelos permitem compreender as relações existentes entre os diversos paradigmas, métodos e domínios de aplicação que integram a IA contemporânea. Neste contexto, as figuras apresentadas de seguida procuram ilustrar a forma como este campo se estrutura atualmente, evidenciando as suas principais hierarquias e áreas de especialização.

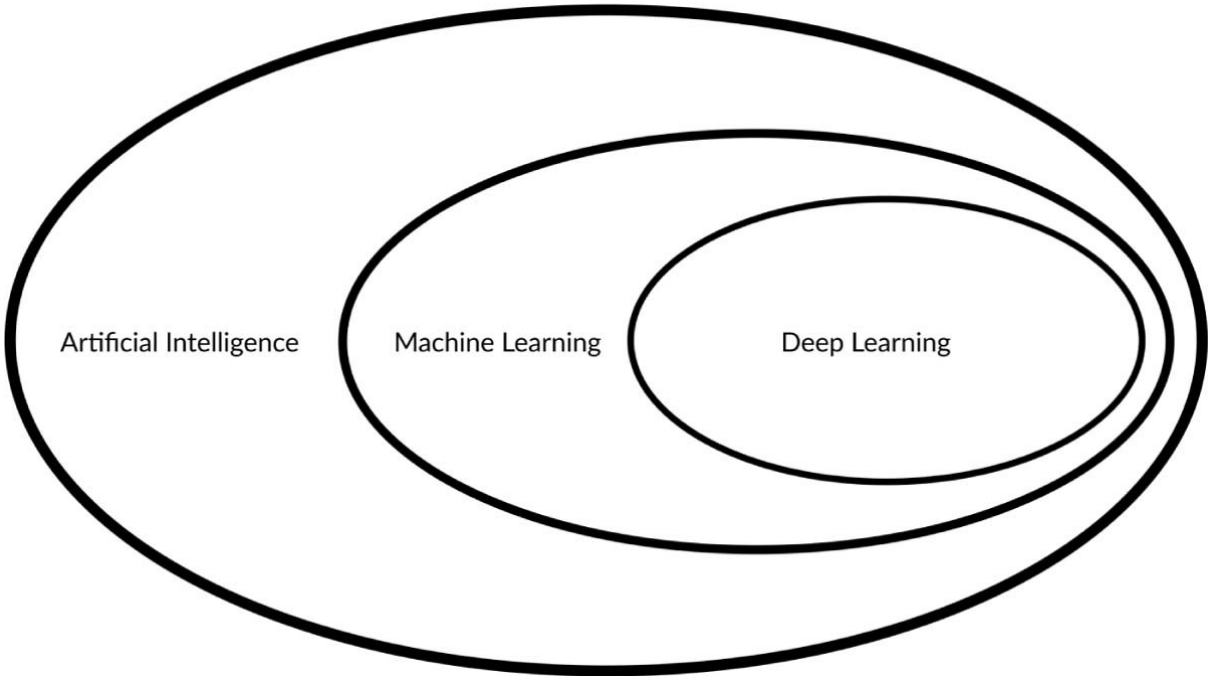


Figura 1 Relação hierárquica entre IA Machine Learning e Deep Learning. (Leach, 2022, p. 37).

A (Figura 1) apresentada ilustra a relação hierárquica entre IA, *Machine Learning* e *Deep Learning*. O diagrama mostra que a IA constitui o domínio mais amplo, englobando todas as técnicas que permitem às máquinas executar tarefas que, de outro modo, exigiriam inteligência humana. Dentro deste campo situa-se o *Machine Learning*, que corresponde ao conjunto de métodos que permitem aos sistemas aprender a partir de dados. Inserido neste, encontra-se o *Deep Learning*, uma subárea especializada que utiliza *Deep Neural Networks* (*DNN*) para analisar dados e extrair padrões complexos. Assim, o diagrama evidencia de forma visual como o *Deep Learning* faz parte do *Machine Learning*, que, por sua vez, está integrado no universo mais vasto da IA.

As formas mais básicas de IA são frequentemente designadas como *narrow AI* ou *weak AI*, uma vez que se trata de sistemas concebidos para desempenhar tarefas restritas e específicas, sem capacidade de generalização. Dentro desta categoria insere-se o *Good Old-Fashioned Artificial Intelligence* (*GOFAI*), associado à chamada IA simbólica, baseada em regras lógicas e motores de inferência. Embora o termo seja por vezes utilizado de forma pejorativa, é importante reconhecer que foi no contexto da que se desenvolveram os primeiros *expert systems*. Apesar das suas limitações, estas primeiras abordagens constituíram um alicerce fundamental para a popularização do conceito de IA e para os avanços subsequentes, permitindo a consolidação de áreas que, décadas mais tarde, dariam origem a técnicas mais sofisticadas, como o *deep learning* e os *large-scale models*.

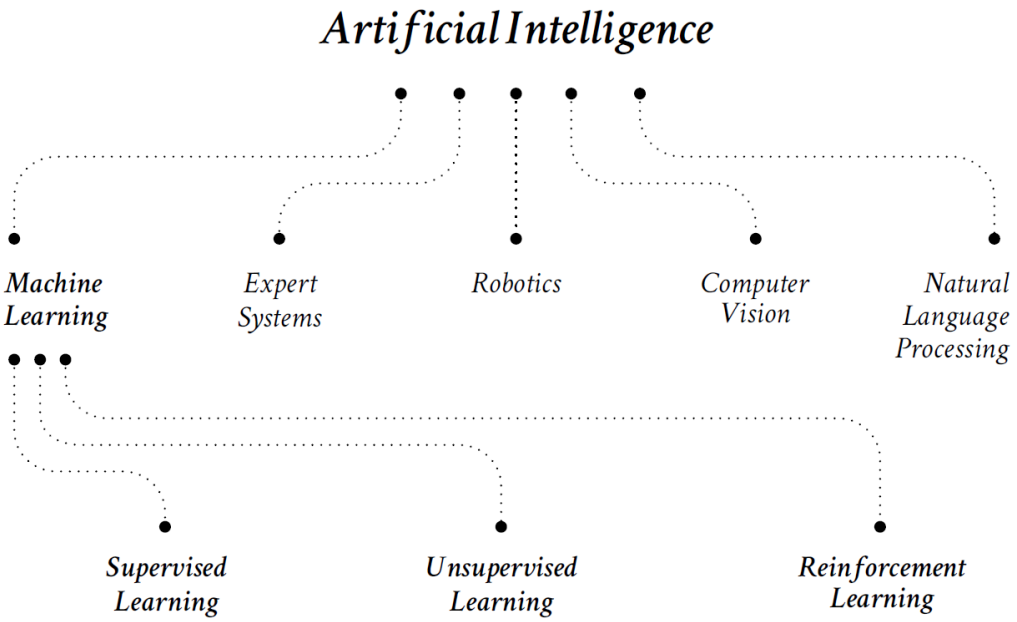


Figura 2 Organização simplificada dos principais domínios da IA (Chaillou, 2022, p. 64).

A (Figura 2) apresenta uma organização simplificada dos vários domínios que compõem a IA. No nível superior surgem diferentes áreas de investigação, como *"Machine Learning"*, *"Expert Systems"*, *"Robotics*", "*Computer Vision*" e "*Natural Language Processing*". A partir de "*Machine Learning*", o diagrama ramifica-se em três subcampos fundamentais: "*Supervised Learning*", "*Unsupervised Learning*" e "*Reinforcement Learning*". O esquema evidencia, assim, a diversidade interna da IA e a forma como estes campos se relacionam entre si.

1.2.2 Paradigmas e abordagens da IA

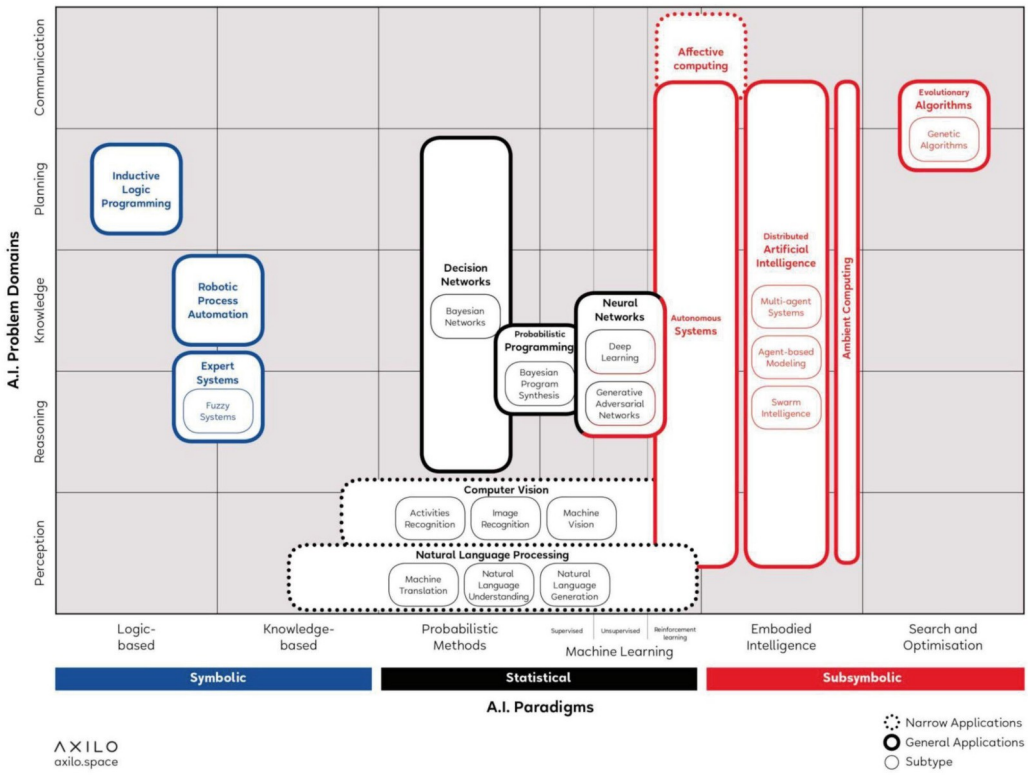


Figura 3 Mapa dos paradigmas, métodos e domínios da IA. (Correa, 2022, p. 18).

A (Figura 3) apresentada o *AI Knowledge Map* (*AIKM*), que organiza e relaciona os diversos domínios, métodos e paradigmas da IA numa única representação visual. Segundo Corea (2019), estes paradigmas correspondem às diferentes abordagens teóricas e práticas utilizadas para resolver problemas específicos, enquanto os domínios de problema representam as áreas concretas onde essas técnicas têm sido aplicadas ao longo da história. No diagrama, estes eixos cruzam-se para revelar três macro-abordagens principais: a simbólica, a estatística e a sub-simbólica.

No lado esquerdo surgem métodos de natureza simbólica, "*Expert Systems*", "*Inductive Logic Programming*" e "*Robotic Process Automation*", que assentam na manipulação explícita de símbolos através de regras lógicas, refletindo a tradição da chamada *GOFAI*. Esta abordagem dominou entre as décadas de 1960 e 1980 e fundamentou o desenvolvimento dos primeiros "*expert systems*". No centro do mapa localizam-se os métodos estatísticos, como "*Decision Networks*", "*Probabilistic Programming*" e "*Machine Learning*", que fazem uso de técnicas matemáticas e probabilísticas para reconhecimento de padrões, classificação, previsão ou análise de dados, áreas que, como refere Corea, têm particular relevância para a prática arquitetónica, sobretudo no processamento de imagens, interpretação de dados espaciais e simulação ambiental (Correa, 2022, p. 17).

À direita encontram-se as abordagens sub-simbólicas, como *DNN*, "*Distributed Artificial Intelligence*", "*Autonomous Systems"* e "*Evolutionary Algorithms"*. Estas técnicas não dependem de representações de conhecimento pré-estruturadas, mas de mecanismos capazes de aprender diretamente a partir de grandes volumes de dados. Corea sublinha que é sobretudo nesta abordagem, frequentemente combinada com métodos estatísticos, que reside maior potencial para lidar com problemas complexos e não estruturados, como os que emergem na disciplina arquitetónica. O autor destaca ainda que os "*Autonomous Systems"* e os sistemas baseados em "*Distributed Artificial Intelligence"* constituem, atualmente e no futuro, os domínios mais adequados para articular as metodologias de projeto com processos algorítmicos baseados em IA.

COMPUTATION TYPE	TECHNOLOGY	CAPABILITIES	EXAMPLE
ALGORITHMIC (TRADITIONAL SOFTWARE)	HARD-CODED PROCEDURES	AUTOMATION OF SPECIFIC PROCESSES AND DATA INTERACTIONS IN A HIGHLY CONSTRAINED CONTEXT	BUILDING INFORMATION MODELLING, ENERGY ANALYSIS SOFTWARE
EMPIRICIST (DEEP LEARNING AI SYSTEMS)	NEURAL NETWORKS	COLLECTION, CLASSIFICATION AND CORRELATION OF LARGE, HOMOGENOUS DATA SETS	LANGUAGE TRANSLATION, CREDIT RISK ASSESSMENT, WINNING JEOPARDY, PLAYING SUPER-HUMAN CHESS
COGNITIVE ('COMMON SENSE' LEARNING SYSTEMS)	CAUSALITY MODELS AND INFERENCE ENGINES	COMMON SENSE KNOWLEDGE OF THE WORLD COMBINED WITH ENORMOUS DATA SOURCES FROM WHICH TO REASON AND INFER	MEDICAL DATA QUERIES, TERRORISM, KNOWLEDGE DATABASES[43]

Figura 4: Comparação entre as principais abordagens tecnológicas IA. (Bernstein, 2022, p. 18)

A (Figura 4), estabelece uma taxonomia crucial para contextualizar as capacidades da IA, distinguindo três abordagens:

- **Algorithmic:** O "*traditional software*", que utiliza "*hard-coded procedures*". Trata-se de automação rígida em "highly constrained context", representando um contraste histórico e não a IA no sentido de aprendizagem.
- **Empiricist:** Os "*deep learning AI systems*", baseados em "*neural networks*". Estes dominam a IA atual, sendo máquinas estatísticas focadas na "*collection, classification and correlation*" de grandes datasets. O seu limite é a dependência da correlação sobre a causalidade.
- **Cognitive:** Os *"'common sense' learning systems"*, que visam o raciocínio e a inferência através de "*causality models and inference engines*". Esta categoria representa um dos principais objetivos de longo prazo da investigação em IA. Contudo, as tecnologias necessárias para a sua concretização permanecem ainda pouco desenvolvidas.

Esta síntese, embora academicamente útil, revela que o campo da IA está, presentemente, dominado pela abordagem *"Empiricist"* e as suas limitações estatísticas

A análise destes paradigmas demonstra que a IA não corresponde a uma única tecnologia ou metodologia, mas a um conjunto diversificado de abordagens para a construção de sistemas inteligentes. As diferenças entre os modelos simbólicos, estatísticos e sub-simbólicos ajudam a explicar a diversidade de ferramentas atualmente disponíveis, bem como as variações observadas nas suas capacidades, limitações e áreas de aplicação. Esta diversidade torna particularmente relevante a classificação funcional das ferramentas analisadas nesta investigação, uma vez que diferentes abordagens tendem a revelar maior eficácia perante diferentes tipos de tarefas.

1.2.3 Capacidades e limitações da IA

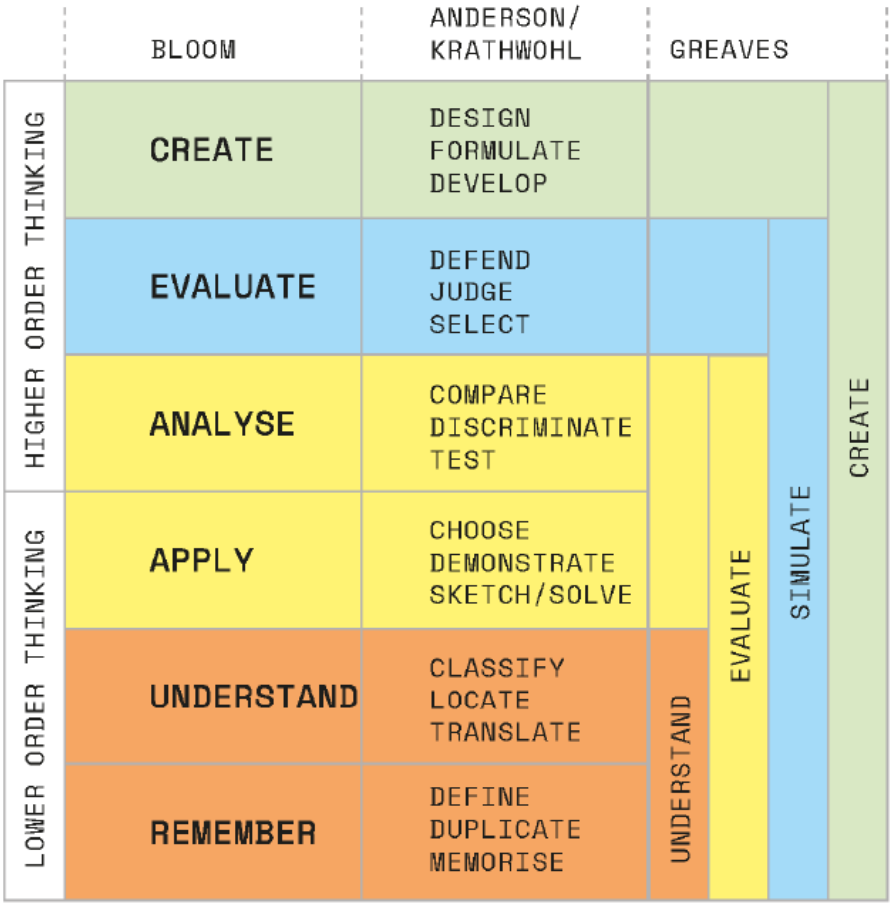


Figura 5 Taxonomia de Bloom (Bernstein, 2022, p. 48)

A "Taxonomia de Bloom" de aprendizagem (Figura 5) constitui uma referência canónica amplamente reconhecida no campo educacional. Originalmente desenvolvida por Benjamin Bloom na década de 1950, esta taxonomia estabelece uma hierarquia de competências cognitivas que evoluem desde o chamado "pensamento de ordem inferior", associado a tarefas como recordar ou memorizar informação, até ao "pensamento de ordem superior", relacionado com a capacidade de criar, formular e desenvolver novas ideias. O seu propósito inicial foi servir como guia para a definição de objetivos pedagógicos e para a seleção de estratégias de ensino em sala de aula. Posteriormente, os seus colaboradores e alunos, nomeadamente Anderson e Krathwohl, reformularam esta hierarquia, tornando os seus termos e categorias mais familiares e amplamente utilizados pelos professores contemporâneos.

Tradicionalmente representada sob a forma de uma pirâmide, a taxonomia organiza os níveis cognitivos de forma progressiva, em que cada etapa se constrói a partir da anterior, aumentando gradualmente em complexidade. Esta estrutura tem sido aplicada não apenas no domínio da pedagogia, mas também em comparações interdisciplinares, como é o caso da análise proposta por Greaves, que estabelece paralelismos entre as categorias de Bloom (e da revisão de Anderson/Krathwohl) e as capacidades das máquinas em IA. De acordo com essa correspondência (Figura 5), os níveis podem ser descritos da seguinte forma:

- Lembrar (*Remember*): nível mais elementar, que abrange a capacidade de definir, duplicar ou memorizar informações.
- Compreender (*Understand*): envolve classificar, traduzir ou localizar informação.
- Aplicar (*Apply*): refere-se a escolher, demonstrar, esboçar ou resolver problemas em contextos específicos.
- Analisar (*Analyze*): capacidade de comparar, discriminar ou testar diferentes elementos.
- Avaliar (*Evaluate*): implica defender, julgar ou selecionar com base em critérios definidos.
- Criar (*Create*): nível mais elevado da hierarquia, correspondente à formulação, conceção ou desenvolvimento de novas ideias, produtos ou soluções.

A discussão em torno das capacidades cognitivas das máquinas conduz inevitavelmente à questão da *Artificial General Intelligence* (*AGI*). Se a Taxonomia de Bloom permite avaliar até que ponto os sistemas atuais conseguem executar tarefas tradicionalmente associadas ao pensamento humano, a *AGI* representa a hipótese de uma IA capaz de generalizar conhecimento, raciocinar em diferentes domínios e aproximar-se das capacidades cognitivas humanas de forma mais abrangente.

Os autores explicitamente afirmam que a *AGI*, definida como "processos algorítmicos tão terrivelmente complexos que são conscientes de si mesmos", é, por enquanto, "apenas uma forma teórica de IA" e "não é (ainda) uma realidade tangível" (Correa, 2022, p. 21, tradução própria). *AGI* não é possível sem ser realizada sobre uma arquitetura cognitiva. Portanto, qualquer sistema computacional que careça de autoconsciência, senciência ou a capacidade de sentir e compreender emoções não é considerado como *AGI*, independentemente da sua complexidade algorítmica ou da utilização de redes neurais.

Os sistemas de *deep learning* mais avançados da atualidade, capazes de desenvolver novas estratégias em jogos complexos, traduzir línguas de forma credível ou compor música e imagens visuais, podem ser interpretados como tendo "escalado a pirâmide de Bloom", uma vez que já não se limitam a tarefas de memorização ou de reconhecimento de padrões, mas demonstram uma forma de "criação" baseada em dados. No entanto, é importante sublinhar que esta criação é profundamente restrita ao contexto e aos dados em que se baseia.

Assim, quando uma máquina "cria", é possível argumentar que os sistemas contemporâneos de IA demonstram desempenhos particularmente eficazes em tarefas associadas à compreensão, avaliação e simulação, sendo capazes de analisar grandes volumes de informação, reconhecer padrões e gerar respostas adequadas a problemas específicos. Contudo, a verdadeira criação, entendida como a integração de critérios técnicos, sociais, culturais e estéticos num processo de conceção aberto e contextualizado, parece permanecer largamente fora do alcance da IA atual. Esta limitação torna-se especialmente evidente na arquitetura, onde o projeto envolve formas de julgamento, interpretação e tomada de decisão que dificilmente podem ser reduzidas a simples correlações estatísticas ou padrões extraídos de dados.

Em síntese, a Taxonomia de Bloom oferece um quadro analítico para compreender as diferentes complexidades do pensamento e da aprendizagem, sendo aqui mobilizada como ferramenta conceptual para analisar e categorizar as capacidades presentes e futuras da IA, especialmente no contexto do desenho e da arquitetura (McNulty, 2019; Bernstein, 2022).

1.2.4 Funcionamento e aprendizagem das redes neuronais

Os avanços recentes da IA encontram-se fortemente associados ao desenvolvimento das redes neuronais artificiais e das técnicas de aprendizagem automática que lhes estão subjacentes. A capacidade destes sistemas para reconhecer padrões, estabelecer relações e produzir resultados cada vez mais precisos resulta de processos de treino iterativos realizados sobre grandes volumes de dados. Neste contexto, as (Figuras 6 e 7) apresentam, de forma simplificada, a arquitetura de uma rede neuronal artificial e o processo de aprendizagem que sustenta o funcionamento dos modelos contemporâneos de IA.

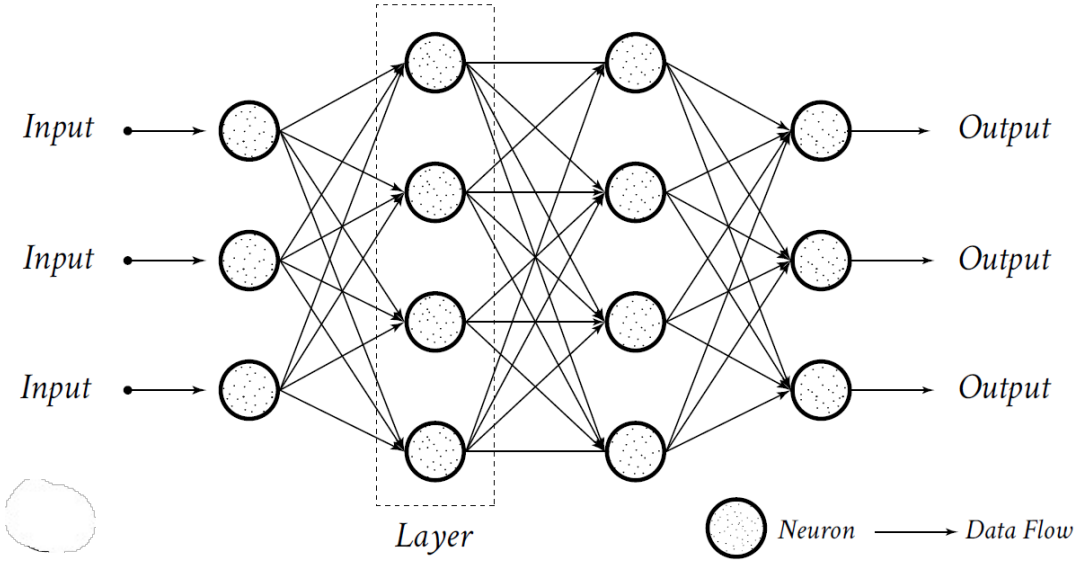


Figura 6 Esquema demonstrativo de uma Artificial Neural Network – ANN (Chaillou, 2022, p. 69).

A (Figura 6) representa a arquitetura simplificada de uma *Artificial Neural Networks* (*ANN*). À esquerda, três neurónios recebem os dados de entrada/ *inputs*. Estes valores são transmitidos através das ligações para os neurónios das camadas intermédias, onde ocorrem transformações e processamento da informação. Cada neurónio está interligado com vários outros, ilustrando o fluxo de dados e a conexão da rede. Após atravessar estas camadas, os dados processados chegam aos neurónios de saída, à direita, que geram os resultados/ *outputs*.

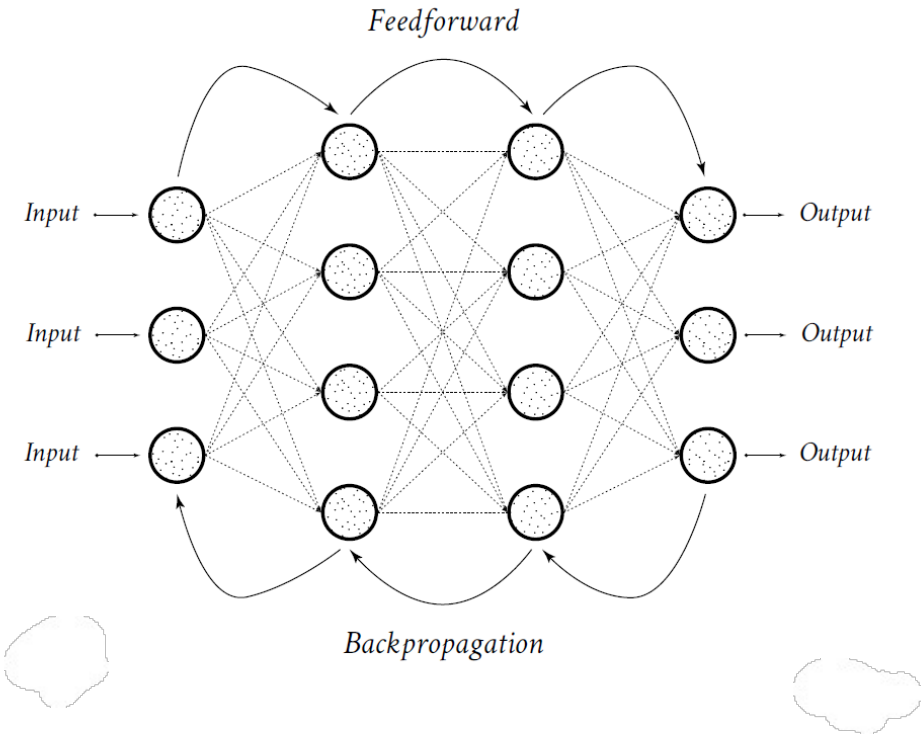


Figura 7 Processo de aprendizagem numa rede neuronal artificial através das fases de feedforward e backpropagation (Chaillou, 2022, p. 70).

A (Figura 7) ilustra o processo de treino de uma rede neuronal artificial. Primeiro, no movimento de *feedforward*, a informação introduzida nos neurónios de entrada percorre a rede até chegar aos neurónios de saída, produzindo um resultado. Em seguida, no movimento de *backpropagation*, o erro entre o resultado obtido e o resultado esperado é propagado de volta através das camadas, ajustando as ligações entre os neurónios. Este ciclo repetido permite que a rede aprenda e melhore progressivamente o seu desempenho.

1.3 Inteligência e Arquitetura



Figura 8 Evolução da investigação em desenho computacional e arquitetura digital (1962–2015) (Caetano et al., 2019, p. 289)

O percursor do *CAD* foi o programa *Sketchpad*, desenvolvido em 1963 por Ivan Sutherland. Este sistema marcou um ponto de viragem no campo do desenho assistido por computador, um vez que não apenas automatizava tarefas de representação gráfica, mas também introduzia a possibilidade de estabelecer relações paramétricas entre entidades geométricas por meio de uma *Graphical User Interface* (*GUI*). O *Sketchpad* antecipava, assim, uma lógica associativa a modificação de um único ponto implicava a atualização automática de todas as geometrias a ele vinculadas, superando a lógica estritamente aditiva do desenho tradicional.

Em paralelo, surgiram os primeiros sistemas algorítmicos, como o *Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* (*CRAFT*), também em 1963, concebido para otimizar padrões de localização espacial em instalações industriais. Apesar da sua relevância no campo do planeamento, este programa estava limitado a relações topológicas e não disponibilizava uma interface gráfica que permitisse interação direta por parte dos criadores (Caetano et al., 2019, p. 288).

Nicholas Negroponte fez contribuições significativas e visionárias para o campo da IA no desenho arquitetónico, antecipando muitas das discussões e desenvolvimentos que vemos hoje, foi um dos primeiros a explorar a ideia do desenho digital. Ele previu o uso de ferramentas como ecrãs, vídeo, câmaras, inteligência de máquina e ambientes imersivos. Na década de 1970, Negroponte liderou o grupo "*The Architecture Machine*" no *MIT*, que tinha como missão investigar como os computadores poderiam melhorar o desenho arquitetónico nas décadas seguintes (Bernstein, 2022, p. 15; Chaillou, 2022, p. 44).

Introduziu o conceito de *"machine assistant"* com projetos como o *Urban 2* e *Urban 5*. Estes programas foram concebidos para ajudar os arquitetos a desenhar plantas, adaptando *layouts* de salas para otimizar as adjacências. *Urban 5*, em particular, demonstrava o potencial do *CAD* na arquitetura (Chaillou, 2022, p. 56).

O trabalho de Negroponte atribuiu aos computadores um papel mais ativo no processo de conceção, para além da simplicidade de outras pesquisas *CAD* da época. Por exemplo, o *Urban 5* emitia avisos "*TED, TOO MANY CONFLICTS ARE HAPPENING*" se detetava conflitos e sugeria layouts para os utilizadores ajustarem. Ele pretendia aumentar a "consciência" da máquina em relação às preferências do utilizador, permitindo uma "*mutual and successful interruptibility*". O objetivo final desta inovação era simplificar e democratizar o trabalho do arquiteto. "O objetivo consistia em democratizar o design, libertando o utilizador da "dependência" do arquiteto, ao permitir que pessoas sem conhecimento especializado pudessem produzir os seus próprios projetos" (Campo, 2022, p. 110, tradução própria).

Durante a década de 1970, o desenho computacional começou a afirmar-se na arquitetura, com a publicação dos primeiros artigos de enquadramento teórico e o desenvolvimento de teses de doutoramento dedicadas ao tema. Já em 1962, a conferência "*Design Methods*" havia estabelecido as bases para este movimento, mapeando os primeiros avanços no cruzamento entre tecnologia e práticas projetuais.

Foi apenas no início da década de 1980 que as ferramentas de *CAD* e, mais tarde, de *Building Information Modeling* (*BIM*) se tornaram comercialmente disponíveis, marcando a transição do desenho computacional de um domínio essencialmente académico e experimental para um campo reconhecido e adotado pela prática arquitetónica (Caetano et al., 2019, pp. 288, 289).

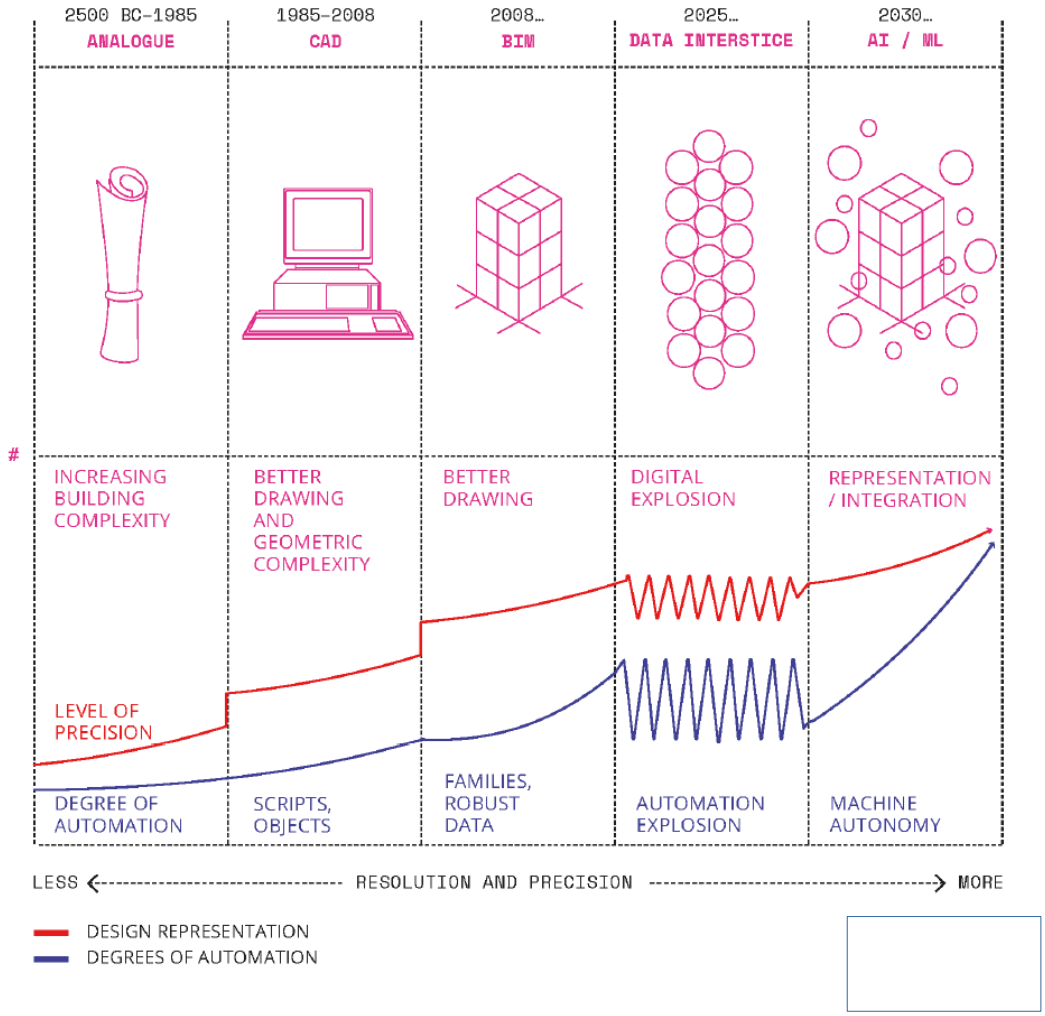


Figura 9 Evolução da representação arquitetónica e dos níveis de automação, desde o desenho analógico até à integração da IA (Bernstein, 2022, p. 11).

Programas como o *AutoCAD*, lançado em 1982, alcançaram um sucesso comercial extraordinário, mas refletiam ainda uma lógica de continuidade em relação ao desenho manual. A sua principal função era transportar para o ambiente digital a lógica aditiva do traço sobre o papel, oferecendo maior precisão e flexibilidade na edição. O objetivo permanecia a produção de representações gráficas mais eficientes, sem ainda introduzir plenamente um raciocínio computacional sobre o processo de conceção arquitetónica (Bernstein, 2022, p. 12). Como ilustrado na (Figura 9), esta fase corresponde a um aumento significativo da precisão e complexidade da representação arquitetónica, mantendo, contudo, níveis relativamente reduzidos de automação quando comparados com os paradigmas digitais mais recentes, como o *BIM* e a IA.

O passo seguinte na evolução do desenho assistido por computador deu-se com a introdução do desenho paramétrico em programas comerciais como o "*Pro/ENGINEER®"*, lançado em 1987, que permitia a criação de componentes tridimensionais controlados por restrições definidas pelo utilizador. Esta inovação abriu caminho para uma abordagem mais flexível e relacional ao processo projetual, superando as limitações do desenho puramente aditivo (Tedeschi & Wirz, 2014, p. 21).

Na década de 2000, o "*Building Information Modeling*" (*BIM*) trouxe uma mudança estrutural na forma de representar e gerir projetos arquitetónicos. Em vez de se produzirem apenas desenhos bidimensionais, passou-se a construir modelos tridimensionais virtuais do edifício, a partir dos quais os desenhos e a restante documentação eram gerados automaticamente como relatórios derivados. Esta metodologia procurava colmatar a distância entre a intenção projetual e a sua execução construtiva, integrando num único modelo informações de projeto, materiais e processos de construção (Bernstein, 2022, p. 4).

Paralelamente, para ultrapassar as limitações impostas pelos programas comerciais tradicionais, as práticas mais experimentais começaram a recorrer ao "*scripting"* como ferramenta de exploração formal e metodológica. Este movimento ganhou novo fôlego com o surgimento do *Grasshopper* em 2007, um editor de algoritmos visuais desenvolvido para o *Rhinoceros*, que democratizou o acesso ao desenho paramétrico. Ao permitir a construção de geometrias complexas através da associação de princípios paramétricos e da definição de relações lógicas entre eles, estas ferramentas deslocaram o foco do resultado para o próprio processo de desenho, promovendo uma forma mais dinâmica e iterativa de conceção (Chaillou, 2022, p. 50).

A transição do *CAD* para a IA representa mais do que uma simples evolução tecnológica, trata-se de uma mudança profunda na forma como o arquiteto se relaciona com as ferramentas digitais. Enquanto o *CAD* e o *BIM* centraram-se sobretudo na representação mais eficiente das ideias, a IA desloca o foco para o raciocínio digital sobre o desenho. Se, no primeiro caso, a tecnologia reforçava a capacidade de desenhar com maior precisão e rapidez, no segundo o objetivo passa a ser a produção e análise de soluções que emergem de processos de inferência computacional (Bernstein, 2022, p. 2).

Esta diferença reflete-se claramente no modo de operar. O *CAD* e o desenho paramétrico assentam numa lógica *"top-down",* (que significa que o projeto parte de regras ou decisões pré-definidas impostas de cima para baixo, ao contrário do "bottom-up", que emerge de interações locais entre elementos simples (Correa, 2022, p. 89)). O arquiteto define regras, parâmetros e restrições que funcionam como um genótipo *weak AI*, gerando uma geometria final, o fenótipo. Todo o conhecimento é codificado diretamente e as soluções possíveis encontram-se, desde o início, delimitadas no espaço de projeto estabelecido pelo projetista. A IA, em especial através do *machine learning*, inverte esta lógica. Em vez de receber regras previamente definidas, aprende padrões a partir da observação de grandes volumes de dados, como plantas de edifícios, tipologias espaciais ou imagens de fachadas, e infere as suas próprias regras de funcionamento. Trata-se, portanto, de uma abordagem "*bottom-up*", em que as soluções não são determinadas antecipadamente, mas emergem de um processo de treino e generalização.

Do ponto de vista do papel que desempenham na prática, *CAD* e *BIM* são essencialmente ferramentas que aumentam a produtividade e a precisão, mantendo sempre o controlo nas mãos do arquiteto. A IA, por sua vez, aproxima-se de um "assistente inteligente" ou mesmo de um "colaborador cognitivo". Em vez de se limitar a executar instruções, é capaz de analisar, prever e gerar alternativas de projeto. Plataformas como a *Spacemaker AI* ou a *Xkool* ilustram esse potencial, ao sugerirem soluções otimizadas em tempo real segundo múltiplos critérios, desde orientação solar até ao impacto acústico, propondo opções que muitas vezes não seriam imaginadas pelo próprio arquiteto (Leach, 2022, p. 163).

Por fim, importa refletir sobre o impacto destas mudanças na prática profissional. Se, no início, o *CAD* levantava receios quanto à perda da arte do desenho manual, hoje a ansiedade em torno da IA prende-se com a possibilidade da substituição do arquiteto. No entanto, a perspetiva mais realista é a de uma ampliação da inteligência e não a sua substituição. A IA tenderá a libertar o arquiteto de tarefas repetitivas ou altamente técnicas, permitindo-lhe dedicar mais tempo à criatividade, ao pensamento crítico e à resolução dos chamados "*wicked problems*" ("*Wicked problems*" são desafios de design complexos, abertos e mutáveis, sem soluções fixas, que exigem julgamento e criatividade em vez de respostas lineares), que continuam a exigir sensibilidade humana (Campo, 2022).

Walter Gropius reconheceu que estas novas máquinas poderiam vir a desempenhar um papel relevante na profissão, sugerindo que "caberá certamente a nós, arquitetos, utilizá-las inteligentemente enquanto meios de controlo mecânico superior, capazes de proporcionar uma liberdade cada vez maior ao processo criativo do projeto" (How Designers and Architects Created the Digital Landscape , MIT Press , Cambridge, MA , 2017 , p 18, tradução própria)

A análise da evolução das tecnologias digitais demonstra que a IA representa mais do que uma simples ferramenta de representação ou modelação, assumindo progressivamente um papel ativo na produção, análise e otimização do projeto arquitetónico. As suas aplicações estendem-se atualmente a múltiplas fases do processo projetual, incluindo a geração de imagens conceptuais, o refinamento e transformação de representações visuais, a geração de alternativas espaciais e volumétricas, a simulação e avaliação de desempenho, bem como a criação de sistemas e modelos paramétricos. Esta diversidade de aplicações evidencia que a IA não constitui uma tecnologia única, mas um conjunto de ferramentas especializadas em diferentes tarefas. Por essa razão, torna-se pertinente proceder à sua classificação segundo critérios funcionais, permitindo analisar de forma mais rigorosa as suas capacidades, limitações e contributos para a prática arquitetónica contemporânea.

2 Critérios de seleção das IA

2.1 Seleção das IA

Nesta dissertação, consideram-se as IA que se destinam a automatizar ou apoiar os processos de trabalho do arquiteto através de mecanismos de aprendizagem automática, geração de conteúdos ou apoio à tomada de decisão. Para serem enquadrados nesta definição, os sistemas devem evidenciar algum grau de autonomia generativa ou capacidade de processamento inteligente. Excluem-se, assim, ferramentas baseadas exclusivamente em regras pré-definidas, incluindo sistemas estritamente algorítmicos (salvo casos particulares, como os *Genetic Algorithms* (*GA*) e abordagens próximas dos *expert systems* clássicos, cuja atuação depende de bases de conhecimento rigidamente estruturadas. Pelo contrário, as IA aqui consideradas caracterizam-se pela capacidade de aprender a partir de dados, gerar novos conteúdos ou estabelecer relações que ultrapassam a simples execução de instruções previamente programadas, incluindo arquiteturas baseadas em *Convolutional Neural Networks* (*CNN*) ou *Artificial Neural Networks* (*ANN*).

Importa referir que a componente de *machine learning* não será obrigatória no sentido estrito de "*user-based machine learning*". Por outras palavras, não se exige que o sistema seja treinado diretamente pelo utilizador, nem que a aprendizagem ocorra em tempo real *"instant learning"*. A exigência mínima é que o sistema possua mecanismos de adaptação ou de raciocínio que permitam ir além de meras instruções pré-programadas, evidenciando, assim, capacidades de adaptação, inferência ou geração que ultrapassam a mera execução de instruções pré-programadas.

Em concordância com a perspetiva crítica de Memo Akten, ferramentas que consistam unicamente em *Rule-Based Systems* não serão consideradas como verdadeiramente inteligentes no âmbito desta investigação. Como o autor esclarece: "Observei frequentemente que muitas pessoas interpretam incorretamente esta ideia como uma afirmação de que a simples incorporação destes sistemas os torna automaticamente inteligentes. Tal interpretação resulta de um equívoco relativamente ao uso do termo IA. A incorporação de determinado sistema ou tecnologia num *software* não implica automaticamente que esse sistema seja verdadeiramente inteligente" (Akten, 2019, tradução própria). Assim, a mera integração de um módulo designado como "IA" num sistema não constitui, por si só, critério suficiente para lhe conferir estatuto de IA neste estudo.

A condição final necessária para a seleção das IA analisadas reside na sua aplicabilidade direta ao campo da arquitetura. São, portanto, privilegiadas ferramentas de "*Generative AI*" que estejam ao serviço do arquiteto e que apoiem concretamente a produção arquitetónica, seja na geração de formas, na elaboração de desenhos e representações, na simulação de cenários ou na otimização de processos projetuais.

Deste modo, a definição de IA adotada neste trabalho situa-se na confluência de três critérios fundamentais:

1- Possuir um processo generativo autónomo;

2- Incluir alguma forma de raciocínio ou adaptação inteligente;

3- Ser operacionalmente relevante para a prática arquitetónica projectual.

Ao reunir estas condições, assegura-se que as IA analisadas não se limitam à automatização de tarefas genéricas, mas contribuem efetivamente para expandir a criatividade, a eficiência e o repertório de soluções disponíveis para o arquiteto. Neste sentido, excluem-se ferramentas cuja principal função se centra na gestão de fluxos de trabalho ou em tarefas de apoio administrativo. Um exemplo é o *Runchat*, que, apesar de poder auxiliar o arquiteto na organização e gestão de processos, não intervém diretamente no processo projetual nem produz contributos relevantes para a conceção arquitetónica, razão pela qual não foi incluído na presente investigação.

Após a definição dos critérios adotados para determinar quais as ferramentas consideradas IA no âmbito desta investigação, foi elaborada uma tabela comparativa reunindo diversas ferramentas pertencentes às diferentes tipologias identificadas. Cada ferramenta foi analisada individualmente com base nas suas funcionalidades, âmbito de aplicação e relevância para a prática arquitetónica. A partir desta análise preliminar, foi selecionada uma ferramenta representativa de cada tipologia, que serviu posteriormente de caso de estudo para os ensaios e avaliações desenvolvidos ao longo da investigação.

Nome	Tipologia	Contexto - Motor funciona	Competência utilizador - Acessibilidade	Controlo e Manuseio	Resultado (output) - Competências
DALL-E 3	Tipo 1 Criação de imagem	Browser	Fácil – Utilizador comum	Texto	Criação de imagem com prompt
Gemini	Tipo 1 Criação de imagem	Browser	Fácil – Utilizador comum	Texto + Imagem	Criação de imagem com prompt
DeepArt	Tipo 1 Criação de imagem	Browser	Fácil – Utilizador comum	Texto + Escolha de estilo	Criação de imagem com prompt
Stable Diffusion	Tipo 1 Criação de imagem	Browser	Intermédio – Conhecimento básico de	Texto + Negative prompts	Criação de imagem com prompt
Artbreeder	Tipo 1 Criação de imagem	Browser	Intermédio – Ajustes manuais	Texto Combinação e cruzamento de imagens	Criação de imagem com prompt
LookX AI	Tipo 1 Criação de imagem	Browser	Fácil – Interface direta	Texto + Estilo automático	Criação de imagem com prompt
Midjourney	Tipo 1 Criação de imagem	Browser	Intermédio – Prompts criativos	Texto + Escolha de estilo	Criação de imagem com prompt
Microsoft	Tipo 1 Criação de imagem	Browser	Fácil – Suporte Microsoft	Texto + Automação de layout	Criação de imagem com prompt
Mnml AI	Tipo 1 Criação de imagem	Browser	Fácil – Prompts diretos	Texto + Estilo	Criação de imagem com prompt
Promeai	Tipo 2 Renderização	Browser	Fácil – Automatizado	Upload + parâmetros visuais + Texto + Negative prompt	Renderização de imagem
Rerender AI	Tipo 2 Renderização	Browser	Fácil – Automatizado	Upload + parâmetros visuais + Texto + Negative prompt	Renderização de imagem
RunwayML	Tipo 2 Renderização	Browser	Fácil – Automatizado	Upload + parâmetros visuais + Texto + Negative prompt	Renderização de imagem
YANUSIA	Tipo 2 Renderização	App/Adon	Intermédio – Integração com software	Modelo 3D + parâmetros	Renderização de modelo 3D
Veras IA	Tipo 2 Renderização	App/Adon e Browser	Intermédio – Integração com software	Modelo 3D + parâmetros	Renderização de modelo 3D
Nano Banana	Tipo 2 Renderização	Browser	Fácil – Utilizador comum	Upload + parâmetros visuais + Texto + Negative prompt	Renderização de imagem
Finch	Tipo 3 Criação espacial	Browser	Fácil – Utilizador comum	Geração automática ou assistida	2d, plantas
Maket	Tipo 3 Criação espacial	Browser	Fácil – Utilizador comum	Geração automática ou assistida	2d, plantas, renderizações
Floorplaner	Tipo 3 Criação espacial	Browser	Intermédio	Geração automática ou	2d, plantas
Architechtures	Tipo 3 Criação espacial	Browser	Intermédio	Geração parametrica	2D, 3D, Plantas alçados
PlanFinder	Tipo 3 Criação espacial	App/Adon	Fácil – Utilizador comum	Geração automática ou	2D, Plantas
Raven	Tipo 4 Criação de IA e alteração manual de forma parametrica	App/Adon	Avançado – Paramétrico + IA	Texto	Criação de modelos 3D
GHPT	Tipo 4 Criação de IA e alteração manual de forma parametrica	App/Adon	Avançado – Paramétrico + IA	Texto	Criação de modelos 3D

Figura 10 - Classificação e caracterização das ferramentas de IA analisadas, segundo tipologia funcional e critérios operativos.

A (Figura 10) apresenta uma classificação e caracterização das ferramentas de IA consideradas no âmbito desta investigação, organizada segundo a tipologia funcional adotada. Para cada ferramenta, são sistematizadas informações relativas ao contexto de utilização, ao grau de acessibilidade para o utilizador, às formas de interação disponíveis, ao tipo de *output* gerado e ao nível de domínio ou fiabilidade percecionado. Esta estrutura permite uma leitura comparativa transversal entre ferramentas de diferentes tipologias, servindo como base para a seleção dos casos de estudo e para a definição das metodologias de teste desenvolvidas nos capítulos seguintes. As IA selecionadas para a fase de testes encontram-se destacadas a amarelo.

2.2 Categorização das IA

Tipo 1: Geração Conceptual de Imagem.

Este tipo de IA é projetado para gerar imagens a partir de instruções textuais ou visuais. Baseia-se em modelos de *machine learning* e *deep learning* que analisam vastos conjuntos de dados visuais, aprendendo padrões estéticos, formais e compositivos. A sua função principal é converter descrições em representações visuais que traduzem conceitos, atmosferas ou ideias espaciais.

O funcionamento destas ferramentas baseia-se na interpretação semântica de *prompts*, identificando elementos-chave e convertendo-os em composições visuais coerentes. Atualmente, a maioria das plataformas de geração de imagem recorre a *diffusion models*, que produzem imagens através de um processo iterativo de remoção de ruído até atingir um resultado visual detalhado e consistente com o pedido do utilizador. Embora algumas ferramentas utilizem outras arquiteturas, como *GAN* ou *CNN*, os modelos de difusão constituem atualmente a abordagem predominante na geração de imagens por IA.

Tipo 2: Refinamento Visual de Imagem.

O Tipo 2 corresponde a ferramentas de IA focadas no aperfeiçoamento visual e técnico de imagens, atuando sobre materiais já existentes. Estas IA são utilizadas para melhorar qualidade, corrigir imperfeições, otimizar iluminação e textura, ou transformar representações simples em visualizações realistas.

Funcionam através de modelos de IA treinados para identificar padrões visuais e relações espaciais presentes nas imagens, reconhecendo elementos como superfícies, iluminação, sombras, texturas e reflexos. Com base nessa aprendizagem, conseguem reconstruir, melhorar ou transformar imagens, aumentando a sua qualidade visual e o nível de detalhe. Dependendo da ferramenta, podem recorrer a diferentes arquiteturas, incluindo *CNN*, *Diffusion Models* e outras abordagens avançadas de *Deep Learning*.

Tipo 3: Geração e Modelação Espacial.

As inteligências artificiais deste tipo concentram-se na estrutura e organização de espaços arquitetónicos. São ferramentas capazes de gerar plantas, volumes, e propostas espaciais com base em parâmetros definidos pelo utilizador.

O seu funcionamento combina algoritmos de geração paramétrica e *machine learning*, capazes de equilibrar fatores como iluminação, circulação, eficiência e sustentabilidade. Estas IA analisam dados geométricos e funcionais, criando soluções espaciais que podem ser ajustadas automaticamente a diferentes contextos e exigências.

Tipo 4: Criação de Modelos Paramétricos

O Tipo 4 corresponde a IA aplicadas ao desenho paramétrico, cuja função é gerar ou modificar geometrias e sistemas formais com base em *prompts* textuais. Estas ferramentas integram-se em ambientes de modelação paramétrica e atuam como intermediárias entre a linguagem natural e a lógica algorítmica dos parâmetros geométricos.

O seu funcionamento baseia-se na capacidade de interpretar *prompts* descritivos e traduzi-los em operações de modelação, ajustando dimensões, proporções e relações espaciais. Ao invés de depender apenas da manipulação manual ou definições visuais.

Na prática arquitetónica, este tipo de IA possibilita um processo criativo interativo, onde o arquiteto atua como orientador conceptual, e a IA responde com soluções geométricas coerentes que podem ser refinadas em tempo real. Isto representa uma evolução do design generativo, aproximando a linguagem natural da lógica computacional que governa a modelação paramétrica.

2.3 Seleção e Justificação das Ferramentas de IA Analisadas

Tipo 1: Geração Conceptual de Imagem.

Ferramenta selecionada: *Midjourney*

A escolha do *Midjourney* para o Tipo 1 baseia-se na sua capacidade de geração imagética a partir de descrições textuais, revelando-se eficaz na tradução de conceitos abstratos em representações visuais. Esta característica torna a ferramenta particularmente adequada à investigação, na medida em que permite analisar a conversão de linguagem semântica em imagem.

Adicionalmente, o *Midjourney* é uma das IA mais amplamente testadas e utilizadas dentro desta tipologia, o que justifica a sua seleção enquanto caso de estudo representativo. O facto de ser uma ferramenta acessível através do browser contribui igualmente para a sua difusão e facilidade de utilização.

A ferramenta disponibiliza quatro planos de utilização distintos. Para o presente estudo, foi selecionado o plano básico (como valor de subscrição mensal de 10€), por apresentar funcionalidades suficientes para cumprir os objetivos definidos, não se verificando vantagens relevantes na adoção dos planos superiores.

Tipo 2: Refinamento Visual de Imagem.

Ferramenta selecionada: *Nano Banana*

O *Nano Banana* é selecionado como representante do Tipo 2 por se focar no refinamento e transformação de imagens pré-existentes, atuando sobretudo ao nível da qualidade visual, do realismo e da materialidade. A sua atuação incide diretamente sobre conteúdos já produzidos, permitindo avaliar o impacto da IA na melhoria e valorização visual da informação gráfica.

A escolha do *Nano Banana* justifica-se também pela sua ampla utilização dentro desta tipologia, associada a fatores como o fácil acesso através do browser.

A ferramenta conta com três de utilização sendo um deles gratuito, no entanto limitado no número de utilizações diárias, apesar dessa limitação foi o plano gratuito o utilizado para a realização dos testes.

Tipo 3: Geração e Modelação Espacial.

Ferramenta selecionada: *Architechtures*

A ferramenta *Architectures* enquadra-se no Tipo 3 por atuar diretamente sobre a organização e geração do espaço arquitetónico, distinguindo-se das tipologias anteriores pela sua intervenção ao nível da estrutura espacial e não apenas da representação visual.

Entre as ferramentas atualmente disponíveis neste tipo, o *Architectures* destaca-se pela sua utilização relativamente difundida e pelo acesso através do *browser*, ainda que apresente um custo consideravelmente elevado. Apesar disso, a sua seleção justifica-se pelo facto de se apresentar como uma solução menos limitada quando comparada com ferramentas concorrentes, sendo capaz de produzir modelos tridimensionais de maior dimensão e complexidade.

Apesar de a ferramenta apresentar um custo exclusivamente anual de 492€ + IVA, disponibiliza um período experimental de sete dias. Durante este período, a única limitação relevante incide sobre a funcionalidade de orçamentação dos custos de construção e dos materiais do edifício, a qual não era pertinente para os objetivos definidos neste estudo. Assim, o período experimental revelou-se suficiente para a realização dos testes pretendidos, não se justificando a subscrição do plano pago nesta fase.

Tipo 4: Criação de Modelos Paramétricos

Ferramenta selecionada: *Raven*

A escolha do *Raven* para o Tipo 4 baseia-se na sua capacidade de geração e modificação de definições paramétricas em ambiente Grasshopper através de linguagem natural. Ao contrário das ferramentas anteriormente analisadas, centradas sobretudo na produção de representações visuais, o *Raven* opera diretamente sobre grafos paramétricos e relações computacionais, permitindo explorar a integração entre IA, modelação algorítmica e desenho paramétrico.

A ferramenta revelou-se particularmente relevante para a investigação por possibilitar a tradução de instruções textuais em sistemas paramétricos editáveis, incluindo componentes, dependências geométricas e fluxos de dados organizados em ambiente visual de programação. Esta característica permite analisar não apenas o resultado formal produzido, mas também a estrutura lógica subjacente ao modelo gerado, nomeadamente a sua flexibilidade, extensibilidade e capacidade de adaptação a alterações projetuais.

Adicionalmente, o *Raven* representa uma abordagem emergente no contexto da IA aplicada à arquitetura, distinguindo-se das restantes ferramentas analisadas por atuar diretamente sobre processos computacionais de modelação e não apenas sobre *outputs* visuais finais. A sua integração com o *Grasshopper* torna-a particularmente relevante no contexto da prática arquitetónica contemporânea, onde o desenho paramétrico assume um papel crescente na exploração formal e na gestão de sistemas complexos.

A ferramenta disponibiliza diferentes modalidades de utilização, incluindo uma versão gratuita baseada em créditos diários limitados. Para o presente estudo foi utilizada a versão gratuita, por esta permitir realizar os ensaios necessários à investigação sem comprometer os objetivos definidos. Apesar das limitações associadas ao número de gerações disponíveis, a versão selecionada revelou-se suficiente para avaliar o comportamento geral do sistema, a organização dos grafos produzidos e a necessidade de intervenção manual no refinamento das definições paramétricas geradas.

3 Teste das diferentes IA

3.1 Metodologia

A metodologia adotada neste estudo visa estabelecer um conjunto de critérios transversais de avaliação, aplicáveis às diferentes tipologias de IA analisadas, independentemente da sua natureza técnica ou funcional. O objetivo central consiste em permitir uma comparação equitativa entre ferramentas distintas, assegurando que a análise incide sobre o seu desempenho enquanto instrumentos de apoio ao processo projetual arquitetónico, e não sobre características específicas de cada sistema.

A avaliação de cada ferramenta é conduzida através de um conjunto de testes controlados, nos quais são definidos *inputs* comparáveis, de natureza textual, visual ou paramétrica, de modo a garantir condições de análise consistentes. O desempenho das inteligências artificiais é analisado segundo três dimensões fundamentais, consideradas essenciais no contexto da prática arquitetónica.

Em todos os casos, o foco da análise incide sobre as seguintes dimensões:

- Fidelidade e coerência: avalia-se a capacidade da IA em interpretar corretamente o *input*, medindo o grau de correspondência entre o *output* gerado e o enunciado definido. Analisa-se a consistência entre os dados fornecidos e os resultados obtidos, bem como a clareza da sua tradução em representação arquitetónica.
- Eficácia comunicativa: avalia-se o desempenho do *output* enquanto instrumento de comunicação arquitetónica. Este critério incide sobre a legibilidade, clareza visual e capacidade da representação em transmitir informação espacial, material ou conceptual.
- Robustez interpretativa: analisa-se o comportamento do sistema perante variações nos *inputs*, incluindo instruções ambíguas, incompletas ou parcialmente contraditórias, bem como pequenas alterações na formulação dos *prompts*. Este critério permite aferir a estabilidade e consistência das respostas geradas.

Estas dimensões são complementadas por uma avaliação qualitativa externa, realizada por estudantes de Arquitetura (1.º ao 5.º ano), assegurando uma leitura informada e disciplinarmente consistente dos resultados.

Cada conjunto de *outputs* é apresentado juntamente com um enunciado claro, permitindo aos participantes avaliar a correspondência entre os dados fornecidos e os resultados gerados. A avaliação é realizada através de uma escala *Likert* de cinco pontos.

Importa salientar que esta avaliação por formulário é aplicada exclusivamente às tipologias de IA de Tipo 1 (geração de imagem), Tipo 2 (aperfeiçoamento de imagem) e Tipo 3 (geração e modelação espacial), uma vez que apenas nestes casos os *outputs*, sob a forma de representações visuais ou espaciais, permitem uma avaliação direta e comparável. A restante tipologia, pela sua natureza analítica ou técnica, não se revela adequada a este tipo de avaliação.

Os testes às diferentes IA são conduzidos exclusivamente pelo investigador, garantindo o controlo dos *inputs*, dos parâmetros e das condições de geração dos resultados. As representações obtidas constituem o objeto da avaliação externa, não sendo solicitado aos participantes que interajam diretamente com as ferramentas.

Esta componente participativa introduz uma validação intersubjetiva dos *outputs*, mitigando a subjetividade individual do investigador e aproximando o ensaio das condições reais de leitura e interpretação de representações arquitetónicas.

3.1.1 Tipo 1

As ferramentas de IA classificadas como Tipo 1, Geração de Imagem têm como principal função a criação de representações visuais a partir de instruções textuais (*text-to-image*) ou combinações de texto e imagem (*image-conditioned generation*). No contexto desta dissertação, estas ferramentas são analisadas enquanto instrumentos de exploração conceptual e comunicação arquitetónica preliminar, e não como dispositivos de definição técnica ou construtiva do projeto.

Objetivo do ensaio

O objetivo do ensaio consiste em avaliar a capacidade desta IA em interpretar instruções fornecidas pelo utilizador (*prompt engineering*) e gerar imagens visualmente coerentes, semanticamente consistentes e relevantes para a comunicação de intenções arquitetónicas. Pretende-se, em particular, aferir o grau de correspondência entre a intenção expressa no *prompt* e o resultado visual produzido, bem como a utilidade do *output* enquanto suporte à exploração conceptual do projeto.

Cenários de teste

Para garantir condições de análise consistentes, são definidos conjuntos de *prompts* textuais estruturados segundo diferentes níveis de complexidade e precisão, incluindo:

- descrições programáticas simples.
- descrições espaciais e atmosféricas mais detalhadas (materiais, iluminação, escala e contexto).
- *prompts* ambíguos ou parcialmente contraditórios, destinados a testar a capacidade interpretativa do sistema.

Em determinados ensaios, é ainda avaliada a influência da inclusão ou exclusão de imagens de referência (*image-to-image*) sobre a coerência e estabilidade dos resultados gerados.

Todos os testes são conduzidos pelo investigador, assegurando o controlo integral dos inputs, da formulação linguística e das condições de geração das imagens.

Métricas de avaliação

A avaliação dos resultados é estruturada a partir de três critérios principais, classificados através de uma escala de *Likert* de cinco pontos:

- Fidelidade semântica: avalia o grau de correspondência entre a "intenção projetual" expressa no *prompt* e o conteúdo visual da imagem gerada, considerando a adequação programática, espacial e atmosférica da representação.
- Coerência visual e compositiva: analisa a consistência interna da imagem, nomeadamente a organização formal, a legibilidade espacial implícita e a ausência de contradições visuais evidentes.
- Utilidade comunicativa: avalia o potencial do resultado enquanto instrumento de comunicação arquitetónica, considerando a sua capacidade de transmitir conceitos espaciais, atmosferas ou intenções formais de modo claro e inteligível no contexto das fases iniciais do projeto.

Avaliação externa

Os *outputs* gerados são posteriormente submetidos a uma avaliação qualitativa externa, realizada por um grupo de estudantes de arquitetura. Cada participante classifica os resultados segundo os critérios definidos, sem contacto direto com as ferramentas utilizadas, baseando a sua análise exclusivamente na leitura das imagens e na descrição do *prompt* associado.

Estabilidade interpretativa

A estabilidade interpretativa das ferramentas é observada através da introdução de pequenas variações na formulação dos *prompts*, incluindo reformulações sintáticas, utilização de sinónimos e introdução de ambiguidades parciais. A análise procura compreender até que ponto os sistemas mantêm coerência visual e semântica perante alterações linguísticas relativamente reduzidas.

3.1.2 Tipo 2

As IA classificadas como Tipo 2, Refinamento e Renderização de Imagem atuam sobre representações visuais pré-existentes, como esboços, modelos tridimensionais simplificados ou imagens de baixa qualidade, com o objetivo de melhorar a sua clareza visual, coerência material e capacidade comunicativa. No contexto desta dissertação, estas ferramentas são analisadas enquanto instrumentos de apoio às fases de desenvolvimento e apresentação do projeto, particularmente no que respeita à comunicação de intenções espaciais, materiais e atmosféricas.

Objetivo do ensaio

O objetivo do ensaio consiste em avaliar a capacidade destas IA em transformar representações arquitetónicas elementares em imagens com qualidade de apresentação, preservando a descrição fornecida original e reforçando a sua legibilidade arquitetónica. Pretende-se aferir até que ponto os sistemas conseguem melhorar aspetos como iluminação, materialidade e profundidade visual sem introduzir distorções significativas ou ambiguidades relativamente à proposta inicial.

Cenários de teste

São utilizados como inputs representações arquitetónicas produzidas pelo investigador, incluindo:

- esboços bidimensionais.
- modelos tridimensionais simplificados, com geometria elementar e ausência de materiais definidos.
- imagens com limitações intencionais de resolução, iluminação ou detalhe.

Estes materiais são submetidos às ferramentas de IA em condições controladas, recorrendo tanto a *prompts* como a parâmetros internos das plataformas, quando disponíveis. Os cenários de teste são concebidos de modo a permitir uma comparação direta entre o estado inicial da representação e o resultado refinado produzido pela IA.

Todos os testes são conduzidos pelo investigador, assegurando o controlo integral dos inputs, da formulação linguística e das condições de geração das imagens.

Métricas de avaliação

A avaliação do desempenho das ferramentas é estruturada a partir de três critérios principais, classificados através de uma escala de *Likert* de cinco pontos:

- Preservação da intenção projetual: avalia-se o grau em que o resultado final mantém as relações espaciais, proporções e opções formais presentes na representação original, evitando alterações arbitrárias ou incoerentes.
- Qualidade visual e material: analisa-se a coerência da iluminação, a credibilidade dos materiais e a consistência global da imagem, sem considerar o realismo fotográfico como objetivo autónomo, mas sim enquanto suporte à compreensão arquitetónica.
- Eficácia comunicativa: avalia-se a capacidade do *output* em transmitir de forma clara e legível as intenções espaciais e materiais do projeto, considerando a sua utilidade em contextos de apresentação, discussão ou validação preliminar da proposta.

Avaliação externa

Os resultados obtidos são submetidos a uma avaliação qualitativa externa por estudantes de arquitetura, aos quais são apresentados, de forma comparativa, os *inputs* originais e os *outputs* refinados. Esta comparação permite avaliar o valor acrescentado introduzido pela IA, bem como eventuais perdas de informação ou distorções da intenção inicial. Os participantes classificam cada conjunto de imagens de acordo com os critérios definidos.

Consistência do refinamento visual

A consistência do refinamento visual é observada através da utilização de *inputs* com diferentes níveis de detalhe, resolução e clareza geométrica, bem como através da introdução de pequenas alterações nas instruções textuais associadas ao processo de renderização. A análise procura compreender a capacidade do sistema em preservar coerência visual, legibilidade arquitetónica e estabilidade material perante variações nos materiais fornecidos.

3.1.3 Tipo 3

As IA classificadas como Tipo 3, Criação e Modelação Espacial concentram-se na geração e organização de configurações espaciais arquitetónicas, incluindo plantas, esquemas funcionais e disposições volumétricas preliminares. No âmbito desta dissertação, estas ferramentas são analisadas enquanto sistemas de apoio à fase inicial de conceção espacial, capazes de propor soluções organizativas a partir de requisitos programáticos e restrições previamente definidas.

Objetivo do ensaio

O objetivo do ensaio consiste em avaliar a capacidade destas IA em gerar soluções espaciais coerentes, funcionalmente viáveis e compatíveis com princípios básicos da prática arquitetónica. Pretende-se aferir até que ponto os sistemas conseguem interpretar corretamente enunciados programáticos, respeitar restrições métricas e funcionais, e produzir configurações espaciais que possam ser consideradas plausíveis enquanto ponto de partida para o desenvolvimento do projeto.

Cenários de teste

São definidos conjuntos de enunciados programáticos normalizados, representativos de tipologias arquitetónicas correntes, como, por exemplo, uma habitação unifamiliar ou plurifamiliar T2. Cada enunciado inclui:

- uma lista de espaços obrigatórios.
- relações de adjacência essenciais (por exemplo, cozinha próxima da sala).
- restrições métricas mínimas (áreas, larguras de circulação).
- condicionantes funcionais básicas (iluminação natural, acessos).

Os cenários de teste abrangem diferentes graus de liberdade projetual, variando a rigidez das restrições impostas, de modo a observar o comportamento das ferramentas perante contextos mais ou menos controlados.

Todos os testes são conduzidos pelo investigador, garantindo a uniformidade dos *inputs*, dos parâmetros definidos e das condições de geração das soluções espaciais.

Métricas de avaliação

A avaliação do desempenho das ferramentas é estruturada a partir de métricas objetivas e qualitativas, organizadas em três níveis complementares:

- Cumprimento programático: mede-se a percentagem de requisitos obrigatórios satisfeitos pela solução gerada, incluindo a presença de todos os espaços definidos e o respeito pelas relações de adjacência essenciais.
- Coerência topológica e funcional: analisa-se a lógica de organização espacial, nomeadamente a clareza das circulações, a hierarquia entre espaços públicos e privados e a ausência de conflitos funcionais evidentes.
- plausibilidade arquitetónica: avalia-se se a solução apresentada pode ser considerada plausível no contexto da prática arquitetónica, enquanto esquema inicial passível de desenvolvimento, sem considerar ainda aspetos construtivos ou regulamentares detalhados.

Estas dimensões são avaliadas através de uma escala de *Likert* de cinco pontos, aplicada por avaliadores externos com formação em arquitetura.

Avaliação externa

As soluções espaciais geradas são submetidas a uma avaliação qualitativa externa por estudantes de arquitetura, aos quais é fornecida a descrição do enunciado programático original. Os participantes avaliam cada proposta com base nos critérios definidos, sem interagir diretamente com as ferramentas utilizadas.

Esta avaliação permite aferir a legibilidade arquitetónica das soluções e a sua adequação enquanto instrumentos de apoio à conceção espacial, introduzindo uma leitura intersubjetiva dos resultados.

Adaptação programática e coerência espacial

A adaptação programática das ferramentas é observada através da introdução de alterações pontuais nos enunciados arquitetónicos, incluindo modificações em restrições métricas, relações de adjacência e requisitos funcionais. A análise procura compreender até que ponto as soluções geradas mantêm coerência espacial, organização funcional e estabilidade distributiva perante alterações programáticas relativamente reduzidas.

3.1.4 Tipo 4

As IA classificadas como Tipo 4, Criação de Modelos Paramétricos atuam no domínio do desenho paramétrico e algorítmico, estabelecendo uma mediação entre a linguagem natural do utilizador e a lógica computacional subjacente à modelação geométrica. No contexto desta dissertação, estas ferramentas são analisadas enquanto sistemas de apoio à exploração formal e espacial, capazes de traduzir instruções textuais em modelos geométricos parametrizados, iteráveis e passíveis de modificação posterior.

Ao contrário das tipologias anteriores, a avaliação destas ferramentas não é realizada através de questionário aplicado a participantes externos. Esta decisão fundamenta-se no facto de a leitura crítica e compreensão destes sistemas exigir conhecimentos específicos de modelação paramétrica e lógica algorítmica, nomeadamente em ambientes como o *Rhino/Grasshopper*, não podendo ser assumida como competência generalizada entre estudantes de arquitetura.

Deste modo, a metodologia de avaliação das ferramentas de Tipo 4 é estruturada excecionalmente a partir dos princípios definidos por Daniel Davis na tese de doutoramento *"Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture"*, desenvolvida na *RMIT University* em 2013. Neste enquadramento, a modelação paramétrica é entendida enquanto sistema comparável à engenharia de *software*, sendo a flexibilidade do modelo considerada o principal critério de qualidade e desempenho.

Objetivo do ensaio

O objetivo do ensaio consiste em avaliar a capacidade destas IA em gerar modelos paramétricos flexíveis, compreensíveis e adaptáveis a alterações sucessivas do projeto, analisando não apenas o resultado geométrico produzido, mas também a estrutura lógica subjacente ao modelo gerado. Pretende-se aferir até que ponto estas ferramentas facilitam ou dificultam a modificação posterior do sistema paramétrico, bem como a sua estabilidade perante alterações de requisitos ou reformulações do pedido inicial.

Cenários de teste

São definidos conjuntos de *prompts* textuais com diferentes níveis de complexidade, variando desde instruções geométricas simples até descrições espaciais e formais mais complexas, envolvendo relações paramétricas múltiplas e restrições geométricas específicas.

Os testes são realizados em ambientes de modelação paramétrica, como o *Rhino/Grasshopper*, através da ferramenta de IA *Raven*. Todos os ensaios são conduzidos exclusivamente pelo investigador, garantindo o controlo dos *inputs*, das condições de geração e das alterações introduzidas ao longo do processo iterativo.

Métricas de avaliação

A avaliação das ferramentas estrutura-se a partir de métricas quantitativas e qualitativas inspiradas no modelo teórico de Daniel Davis.

Do ponto de vista quantitativo, são analisados: (Davis, 2013, pp. 75–77)

- Tempo de construção do modelo paramétrico.
- Tempo necessário para modificar o modelo perante alterações de requisitos.
- Latência entre a alteração do *input* e a atualização geométrica do modelo.
- Complexidade estrutural do sistema paramétrico, considerando o número de relações e dependências existentes.
- Dimensão global do modelo, avaliada através da quantidade de componentes, nós ou operações necessárias à sua construção.

Do ponto de vista qualitativo, são avaliados: (Davis, 2013, p. 88)

- Consistência geométrica, verificando se o modelo corresponde ao enunciado definido e se não apresenta erros ou conflitos geométricos ocultos.
- Extensibilidade, analisando a capacidade do sistema em acomodar alterações sem perda de coerência paramétrica.
- Compreensibilidade da lógica gerada, observando a clareza organizativa do sistema paramétrico e a legibilidade das relações estabelecidas.
- Reutilização, avaliando se componentes ou módulos produzidos podem ser reutilizados noutros contextos projetuais.

Metodologia comparativa

A análise é desenvolvida através da observação crítica dos modelos paramétricos produzidos pelas ferramentas de IA, considerando aspetos relacionados com organização do grafo, legibilidade computacional, flexibilidade paramétrica e capacidade de adaptação do sistema perante alterações sucessivas do modelo.

Inspirada na abordagem comparativa descrita por Daniel Davis (2013), esta análise procura observar diferenças entre os sistemas generativos assistidos por IA e os métodos paramétricos convencionais, particularmente ao nível da organização lógica, extensibilidade e estabilidade operacional das definições produzidas. (Davis, 2013, p. 180)

Estabilidade paramétrica e flexibilidade do sistema

A estabilidade paramétrica das ferramentas é analisada através da introdução de reformulações linguísticas, alterações estruturais nos *prompts* e modificações paramétricas inesperadas ao longo do processo iterativo. A análise procura compreender a capacidade do sistema em manter coerência geométrica, legibilidade computacional e flexibilidade estrutural perante alterações progressivas do modelo paramétrico.

3.2 Análise de sensibilidade

3.2.1 Tipo 1



Figura 11 Representação arquitetónica gerada pelo Midjourney no âmbito dos ensaios realizados às IA de Tipo 1 – Geração Conceptual de Imagem.

***Prompt* utilizado:** *"Two-story modernist house designed for a sculptor, clean geometric composition and minimalist architectural language. The house is elevated above the ground on slender pilotis and partially integrated into a sloped terrain. It features a central open-air exhibition courtyard containing a large monumental sculpture, with a strong relationship between interior and exterior spaces. The structure is made of exposed board-formed concrete. The building is located within a dense natural forest, surrounded by permeable ground surfaces such as gravel, compacted earth, or permeable paving (no exterior concrete flooring). Realistic architectural photography, full color image with natural material tones, soft warm daylight, eye-level perspective, high detail, 35mm lens."*

Durante os ensaios realizados com a ferramenta de IA de Tipo 1, verificou-se que a qualidade e coerência dos resultados produzidos dependiam significativamente da construção linguística dos *prompts* utilizados. Contrariamente à perceção simplificada de que estas ferramentas funcionam apenas através de descrições genéricas, observou-se que pequenas alterações semânticas, sintáticas ou terminológicas produziam variações substanciais nos *outputs* gerados. Desta forma, o processo de elaboração dos *prompts* assumiu um papel central na investigação, funcionando não apenas como mecanismo de instrução, mas também como instrumento de controlo parcial do comportamento interpretativo da IA.

Numa fase inicial, os *prompts* apresentavam uma estrutura relativamente genérica, produzindo frequentemente resultados visualmente inconsistentes, estilisticamente indefinidos ou afastados da intenção arquitetónica pretendida. Através de um processo iterativo de reformulação e refinamento, tornou-se evidente que a utilização de vocabulário técnico específico da disciplina arquitetónica contribuía significativamente para a melhoria da precisão dos resultados. Termos como *pilotis, board-formed concrete, curtain wall, brutalist, architectural photography* ou *wide-angle lens* revelaram-se particularmente eficazes na orientação semântica do sistema, permitindo obter representações mais próximas das intenções formais, materiais e atmosféricas pretendidas.

Verificou-se igualmente que a utilização da língua inglesa produzia resultados consideravelmente mais consistentes e precisos do que *prompts* equivalentes escritos em português. Esta observação sugere uma forte dependência dos conjuntos de dados predominantemente em inglês utilizados no treino destes modelos, revelando uma assimetria linguística significativa na capacidade interpretativa da IA.

Outro aspeto relevante observado durante os ensaios foi a necessidade de especificar parâmetros associados não apenas à arquitetura em si, mas também às convenções de representação visual da arquitetura. Elementos relacionados com perspetiva, distância focal, iluminação, enquadramento ou estilo fotográfico demonstraram ter um impacto substancial no resultado produzido. Tal comportamento sugere que estas inteligências artificiais não geram arquitetura de forma autónoma, mas sim imagens estatisticamente associadas à representação arquitetónica presente nos seus conjuntos de treino.

A robustez interpretativa do sistema foi analisada através da introdução de pequenas variações controladas nos *prompts*, incluindo reformulações linguísticas, utilização de sinónimos, tradução entre português e inglês e introdução de conceitos parcialmente ambíguos ou contraditórios. Observou-se que determinadas alterações aparentemente reduzidas conduziam a variações formais significativas, revelando um comportamento interpretativo relativamente sensível à estrutura textual do *prompt*.

De forma geral, os ensaios realizados demonstraram que estas ferramentas operam menos como sistemas de compreensão arquitetónica e mais como mecanismos de associação probabilística entre linguagem e representação visual. Neste contexto, o papel do arquiteto desloca-se parcialmente da produção direta da forma para a construção estratégica da linguagem, seleção crítica dos resultados produzidos e correção contínua das ambiguidades interpretativas do sistema.

3.2.2 Tipo 2

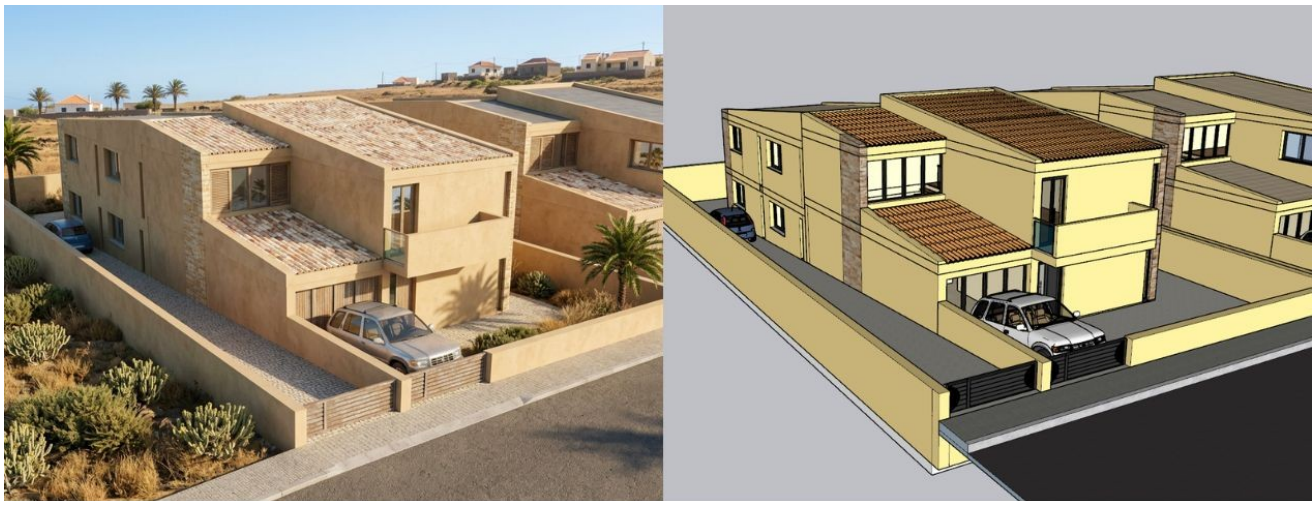


Figura 12 Resultado obtido no ensaio das IA de Tipo 2 – Refinamento e Renderização de Imagem, evidenciando à esquerda a imagem refinada pelo Nano Banana e à direita a representação original utilizada como input.

***Prompt* utilizado:** *"Transform this architectural model into a realistic high-quality render of a beach house located in Porto Santo, Madeira. Use local materials typical of Porto Santo, including light sandstone stone cladding and warm sandy tones. Apply light-colored ceramic roof tiles typical of Portuguese coastal architecture. Natural warm Atlantic sunlight, bright clear sky, soft shadows, coastal atmosphere. Add subtle weathering to materials due to sea air. Realistic glass reflections, natural vegetation typical of Porto Santo (low shrubs, dry grasses, palm trees). Neutral warm color palette, high detail, photorealistic rendering, professional architectural visualization."*

Durante os ensaios realizados com as ferramentas de IA de Tipo 2, verificou-se que a qualidade do resultado final dependia não apenas do *prompt* textual utilizado, mas também da qualidade, composição e legibilidade da imagem base fornecida ao sistema, neste caso o 3D realizado em *Sketchup* de uma casa de férias projetada para existir na ilha do Porto Santo. Ao contrário das IA de Tipo 1, centradas predominantemente na geração imagética a partir de linguagem natural, as ferramentas de refinamento e renderização revelaram uma forte dependência da relação entre *input* visual e instrução textual, funcionando como sistemas híbridos de interpretação geométrica e estilística.

No ensaio apresentado, foi utilizada como base uma representação tridimensional simplificada produzida em ambiente de modelação arquitetónica, posteriormente submetida ao *Nano Banana* juntamente com um *prompt* descritivo orientado para a criação de uma visualização arquitetónica realista contextualizada na ilha do Porto Santo, Madeira. O *prompt* incluía referências explícitas a materiais regionais, tonalidades arenosas, revestimentos de pedras locais, telha cerâmica clara típica da arquitetura portuguesa costeira, vegetação adaptada ao clima seco da ilha e condições atmosféricas específicas associadas à luz atlântica.

Verificou-se que a conjugação entre a imagem base e a especificidade semântica do *prompt* foi determinante para a qualidade do resultado obtido. A geometria principal do modelo original foi genericamente preservada, permitindo ao sistema introduzir materialidade, iluminação, vegetação e profundidade atmosférica sem comprometer totalmente a organização espacial inicial da proposta arquitetónica. No entanto, observou-se igualmente que determinados elementos foram reinterpretados pela IA de forma relativamente livre, nomeadamente texturas, proporções de alguns detalhes construtivos e características associadas ao contexto envolvente.

Tal como observado nos ensaios de Tipo 1, tornou-se evidente a importância da utilização de terminologia arquitetónica específica e da descrição precisa de materiais, iluminação e atmosfera. Expressões como "*light sandstone stone cladding, warm Atlantic sunlight, soft shadows, coastal atmosphere ou professional architectural visualization"* revelaram-se fundamentais para orientar o comportamento interpretativo do sistema e evitar resultados excessivamente genéricos ou artificialmente estilizados.

Verificou-se igualmente que a imagem base condicionava fortemente a coerência do resultado final. Modelos tridimensionais com geometria clara, perspetiva legível e organização formal consistente produziam refinamentos significativamente mais estáveis do que representações ambíguas ou excessivamente simplificadas. Neste contexto, a IA demonstrou funcionar menos como um sistema autónomo de criação arquitetónica e mais como uma ferramenta de amplificação visual da informação previamente contida no *input* original.

A análise realizada permitiu concluir que estas ferramentas operam sobretudo através da reinterpretação visual de dados existentes, acrescentando materialidade, atmosfera e realismo gráfico a representações preliminares. Consequentemente, o papel do arquiteto mantém-se central no processo, não apenas na definição do modelo base, mas também na construção estratégica do *prompt*, na seleção crítica dos resultados produzidos e na correção das ambiguidades introduzidas pelo sistema de IA.

3.2.3 Tipo 3



Figura 13 Perspetiva tridimensional gerada pelo Architechtures no âmbito dos ensaios realizados às inteligências artificiais de Tipo 3 – Criação e Modelação Espacial.

Durante os ensaios realizados com as ferramentas de IA de Tipo 3, verificou-se que o sistema apresentava uma elevada rapidez na geração inicial de propostas espaciais e volumétricas. A partir do enunciado programático definido, a ferramenta conseguia produzir em poucos instantes soluções paramétricas relativamente coerentes ao nível da organização geral do edifício, demonstrando particular eficácia na definição do volume global, como podemos observar na (Figura 13).

No ensaio realizado, foi definido um programa habitacional composto por 60 apartamentos, distribuídos entre 40 frações T1 e 20 frações T2, todos com varandas associadas aos quartos, organizados através de um corredor central de distribuição e complementados por uma zona comercial ao nível do piso térreo. A partir destas instruções, o sistema gerou automaticamente diferentes hipóteses organizativas e volumétricas do edifício.

A análise da solução gerada permitiu verificar que a ferramenta foi capaz de produzir uma organização espacial globalmente coerente, distribuindo os diferentes compartimentos de acordo com o programa definido. A planta apresentada na (Figura 15) evidencia uma tentativa de estruturar funcionalmente o edifício, identificando as diferentes tipologias habitacionais e os espaços complementares previstos. Contudo, observam-se diversas limitações do ponto de vista arquitetónico, nomeadamente a existência de compartimentos com proporções excessivamente reduzidas, espaços sem função claramente atribuída e algumas inconsistências ao nível da organização funcional. Estas limitações tornam-se particularmente evidentes na articulação entre os diferentes pisos, sendo possível observar na (Figura 14) problemas relacionados com a distribuição e continuidade dos acessos verticais, comprometendo a funcionalidade global da solução proposta.

Apesar da rapidez observada na geração das soluções iniciais, verificaram-se limitações significativas ao nível da flexibilidade e adaptação a condições mais específicas ou excecionais. Observou-se que o sistema apresentava dificuldades na gestão de topografia e condicionantes mais complexas do terreno, tendendo a privilegiar soluções excessivamente simplificadas ou genericamente planas. Da mesma forma, alterações mais específicas relacionadas com tipologias, organização funcional ou adaptações pontuais revelaram-se relativamente difíceis de implementar.

Verificou-se igualmente que a ferramenta apresentava uma estrutura de utilização pouco intuitiva e relativamente limitada ao nível das opções de controlo disponibilizadas ao utilizador. Embora o sistema demonstrasse rapidez e eficácia na geração do "grosso" da proposta arquitetónica, o refinamento e manipulação detalhada das soluções produzidas tornavam-se progressivamente mais lentos e difíceis de gerir.

Em particular, observou-se que a manipulação de tipologias específicas e a introdução de alterações mais detalhadas provocavam frequentemente uma degradação significativa do desempenho do sistema, originando períodos de bloqueio e processamento que podiam atingir um a dois minutos. Tal comportamento sugere que estas ferramentas demonstram maior eficácia enquanto instrumentos de exploração volumétrica e organizativa preliminar do que enquanto sistemas de desenvolvimento arquitetónico detalhado e altamente adaptável.



Figura 14 Corte arquitetónico produzido pelo Architechtures no âmbito do ensaio de Tipo 3, evidenciando a organização vertical e distribuição espacial da proposta gerada automaticamente.



Figura 15 Planta arquitetónica gerada pelo Architechtures a partir do programa funcional definido para o ensaio de Tipo 3 – Criação e Modelação Espacial.

3.2.4 Tipo 4

Foram realizados dois ensaios distintos com as ferramentas de Tipo 4, com o objetivo de avaliar o seu desempenho perante diferentes níveis de complexidade projetual. O primeiro ensaio procurou testar a capacidade do sistema para gerar e modificar um modelo paramétrico relativamente simples, permitindo analisar a rapidez de execução, a consistência geométrica e a lógica das relações estabelecidas. O segundo ensaio introduziu um grau superior de complexidade, através de um maior número de parâmetros, dependências e condicionantes, permitindo avaliar a escalabilidade do sistema e a sua capacidade de manter desempenho, legibilidade e flexibilidade perante problemas mais exigentes.

Ensaio 1

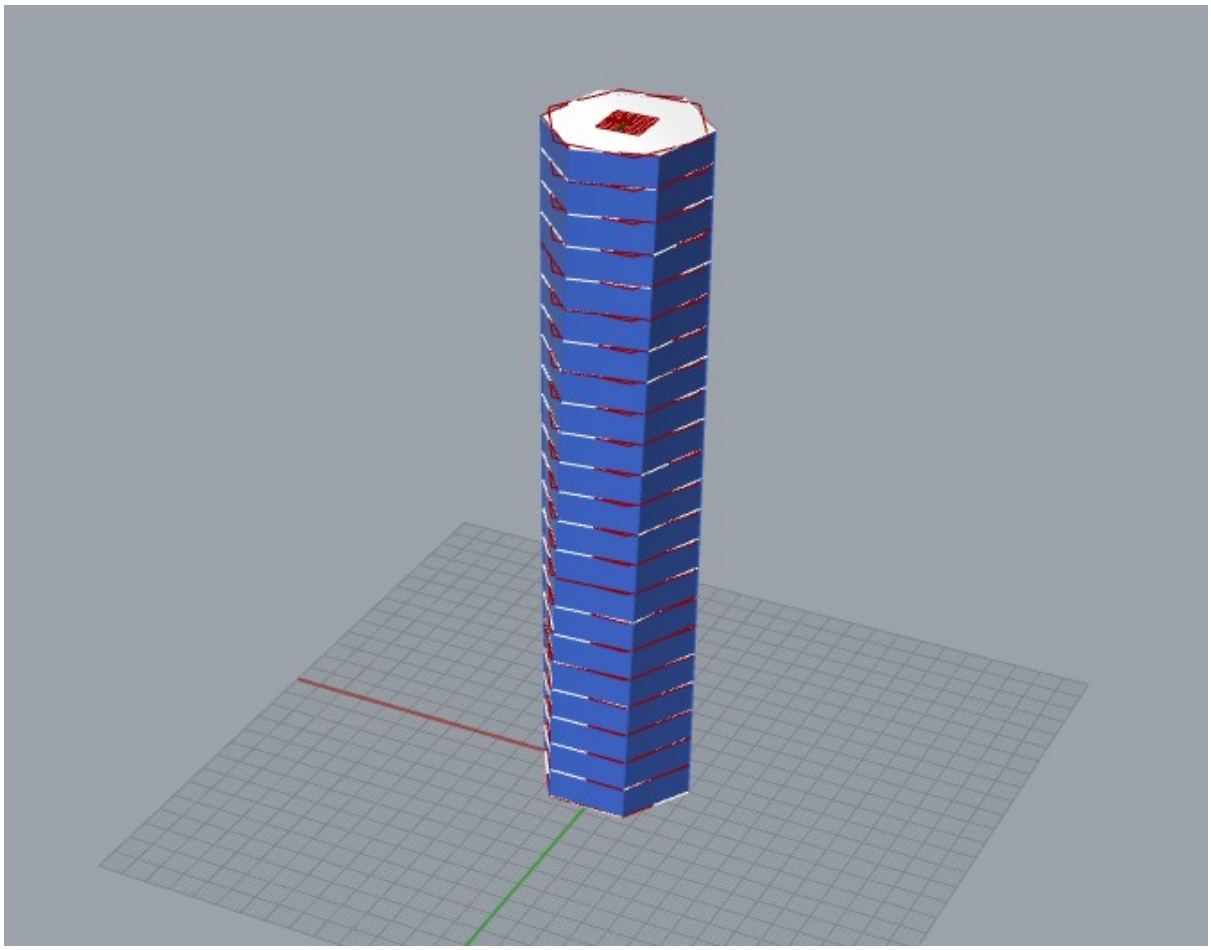


Figura 16 Resultado tridimensional do primeiro ensaio realizado com o Raven, evidenciando a geração automática de uma torre paramétrica com rotação progressiva dos pisos.

***Prompt* utilizado:** *"Create a parametric spiraling tower with adjustable floor height, floor count, tower radius, and rotation angle between floors. The building should maintain geometric consistency when parameters are modified."*

Neste primeiro ensaio conseguiu gerar o edifício pretendido em aproximadamente três minutos, produzindo um grafo paramétrico relativamente organizado, legível e intuitivo. A estrutura do sistema revelou-se simples de compreender, apresentando uma separação clara entre os diferentes componentes responsáveis pela geração geométrica e pela visualização do modelo.

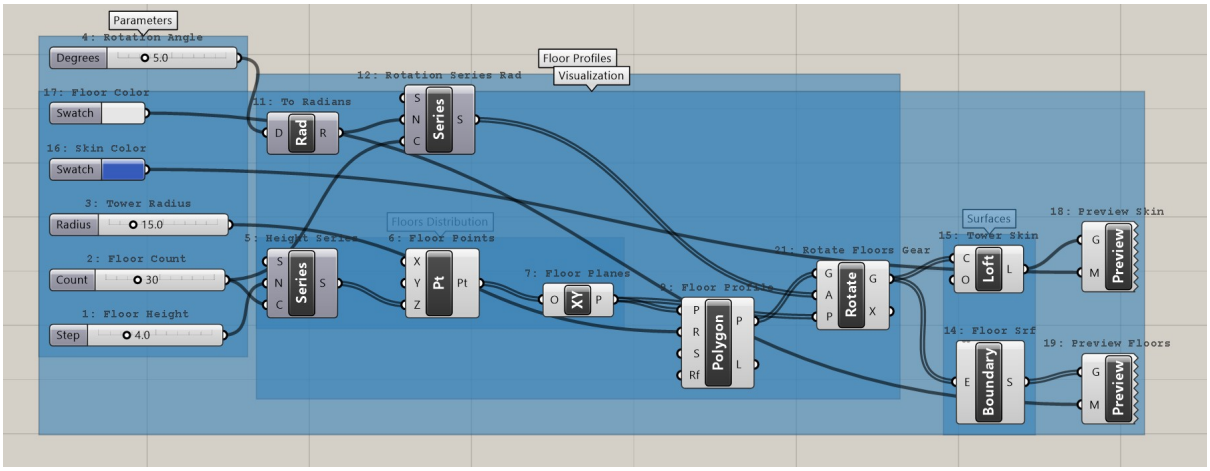


Figura 17 Grafo paramétrico gerado automaticamente pelo Raven em ambiente Grasshopper para a criação da torre espiralada, incluindo parâmetros de altura, rotação e raio da geometria.

Entre os parâmetros definidos automaticamente pelo sistema encontravam-se a rotação do edifício no sentido horário, as cores associadas ao *preview* da *skin* e das lajes dos pisos, o raio do polígono base da torre, o número de andares e a altura de cada piso. Estas variáveis podiam ser alteradas parametricamente através de *number sliders*, permitindo modificar o comportamento geométrico do modelo em tempo real sem comprometer a estabilidade geral do grafo.

Relativamente à complexidade estrutural do sistema paramétrico, observou-se que o grafo gerado apresentava uma organização relativamente simples, assente num número reduzido de relações e dependências entre componentes. A definição paramétrica encontrava-se estruturada em torno de parâmetros fundamentais, como o número de pisos, a altura dos andares, o raio da geometria base e o ângulo de rotação, não evidenciando cadeias complexas de dependências ou hierarquias profundas de controlo. Do mesmo modo, a dimensão global do modelo revelou-se relativamente reduzida, sendo composto por um conjunto limitado de componentes e operações, o que contribuiu para a sua legibilidade, facilidade de compreensão e rapidez de modificação. Estas características sugerem que o sistema produzido se adequa a problemas paramétricos de baixa a média complexidade, constituindo um exemplo eficaz de geração automática de definições paramétricas simples.

Contudo, observou-se a ausência de determinados graus de flexibilidade paramétrica. Em particular, verificou-se que o componente *Polygon* não possuía um *number slider* associado ao parâmetro "S" (*sides*), impossibilitando a alteração paramétrica do número de lados do polígono base. Esta limitação obrigaria à introdução manual de um novo parâmetro no sistema, reduzindo parcialmente a extensibilidade automática do modelo gerado.

Foi igualmente observado que o sistema apenas permitia inicialmente a rotação do edifício no sentido horário. No entanto, esta limitação revelou-se facilmente corrigível através da edição do *number slider* associado ao parâmetro "*Degrees*", permitindo a introdução de valores negativos e, consequentemente, a rotação no sentido anti-horário.

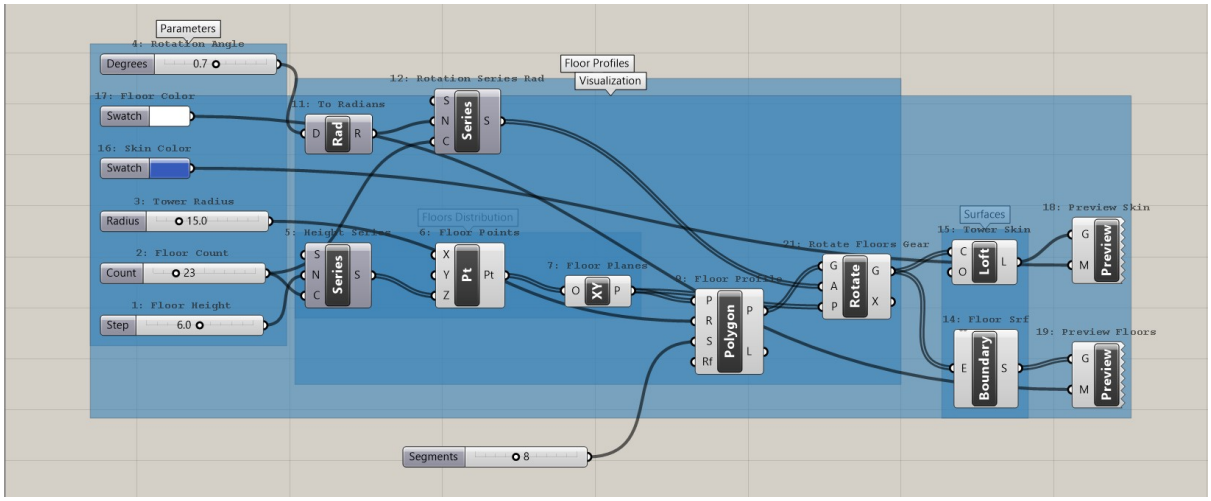


Figura 18Grafo paramétrico após intervenção manual do investigador, incluindo a introdução de um parâmetro adicional para controlo do número de lados do polígono base da torre.

De forma geral, o sistema demonstrou uma capacidade significativa de geração automática de definições paramétricas funcionais, evidenciando simultaneamente algumas limitações ao nível da profundidade e abrangência da parametrização inicialmente produzida.

Ensaio 2

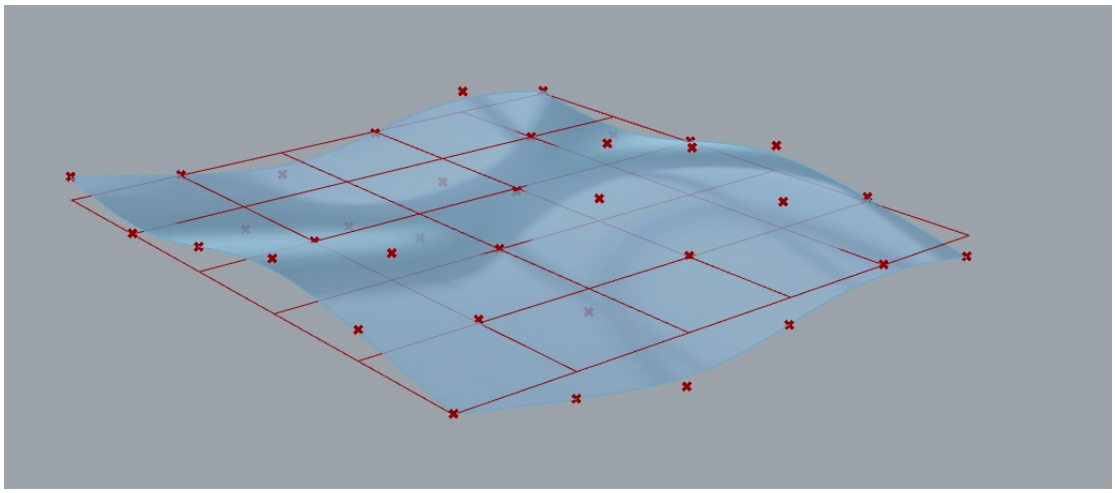


Figura 19 Geometria inicial da cobertura ondulada gerada pelo Raven no âmbito do segundo ensaio de Tipo 4 – Criação de Modelos Paramétricos.

***Prompt* utilizado:** *"Create a parametric wavy roof supported by a grid of columns. The roof geometry should allow adjustable wave amplitude, wave frequency, roof dimensions, and column spacing through editable parameters."*

No segundo ensaio realizado com o *Raven*, o sistema demonstrou novamente uma capacidade significativa de geração automática de grafos paramétricos relativamente organizados e legíveis, produzindo uma definição funcional capaz de gerar uma cobertura ondulada suportada por uma grelha estrutural em apenas 3 minutos. No entanto, verificou-se que o resultado produzido não correspondia integralmente ao objetivo arquitetónico pretendido.

Apesar de o sistema ter interpretado corretamente a lógica geral da relação entre cobertura e estrutura, os elementos verticais de suporte foram gerados apenas sob a forma de linhas, não existindo uma materialização geométrica efetiva dos pilares. Esta limitação revelou que o *Raven* conseguiu compreender a organização estrutural abstrata do sistema, mas não completou autonomamente a representação arquitetónica tridimensional dos elementos construtivos. Para resolver esta limitação, foi introduzido manualmente o componente *Pipe*, permitindo converter as linhas estruturais em pilares cilíndricos tridimensionais parametrizáveis.

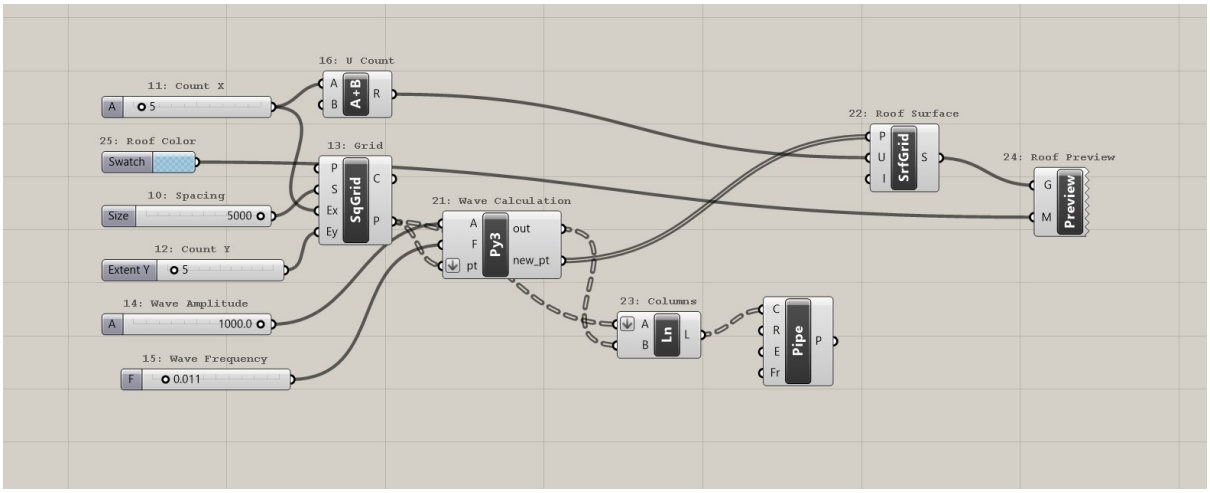


Figura 20 Grafo paramétrico gerado automaticamente pelo Raven para a criação de uma cobertura ondulada suportada por grelha estrutural.

Relativamente à complexidade estrutural e à dimensão global do modelo, observou-se que o grafo gerado apresentava um número relativamente reduzido de componentes e relações paramétricas quando comparado com o objetivo definido no enunciado. Embora esta simplificação contribuísse para uma elevada legibilidade e facilidade de compreensão do sistema, verificou-se que várias características relevantes não foram parametrizadas autonomamente pela ferramenta. Em particular, alguns elementos arquitetónicos e construtivos fundamentais encontravam-se ausentes ou representados de forma incompleta, exigindo a introdução manual de novos componentes, operações e parâmetros. Neste sentido, a reduzida dimensão do grafo não deve ser interpretada como um indicador inequívoco de eficiência, podendo também refletir uma simplificação excessiva da lógica paramétrica necessária para responder integralmente ao problema proposto.

Verificou-se igualmente que a cobertura gerada pelo sistema correspondia apenas a uma superfície sem espessura geométrica real, funcionando essencialmente como uma representação bidimensional deformada no espaço tridimensional. Apesar de esta solução ser suficiente para a definição formal inicial da geometria, a ausência de espessura limitava a legibilidade arquitetónica e a perceção material do elemento construtivo.

De modo a introduzir uma representação mais próxima de um elemento arquitetónico exequível, foi adicionada manualmente uma operação de *Offset Surface* ao grafo paramétrico. Esta operação permitiu gerar uma segunda superfície paralela à superfície original, criando uma espessura volumétrica contínua para a cobertura. Foi igualmente introduzido um *number slider* associado ao parâmetro de distância (*Distance*) do componente *Offset Surface*, permitindo controlar parametricamente a espessura da cobertura. Esta alteração tornou possível modificar em tempo real a dimensão volumétrica do elemento sem comprometer a geometria global do sistema ou a relação paramétrica entre cobertura e estrutura.

Adicionalmente, o grafo paramétrico produzido apresentou uma estrutura relativamente clara, modular e intuitiva, permitindo identificar facilmente os diferentes grupos funcionais responsáveis pela geração da grelha, deformação da cobertura, estrutura vertical e visualização geométrica. A organização do fluxo de dados revelou-se suficientemente legível para permitir alterações manuais sem comprometer significativamente a compreensão global do sistema.

As modificações posteriormente introduzidas, incluindo o controlo paramétrico da altura da cobertura, a reorganização da relação entre os pilares e os pontos deformados da superfície e a introdução de espessura volumétrica na cobertura, puderam ser realizadas de forma relativamente simples e intuitiva. Tal comportamento sugere que, apesar das limitações observadas ao nível da completude arquitetónica do resultado inicial, o sistema gerado pelo *Raven* manteve um nível satisfatório de extensibilidade e adaptabilidade paramétrica.

A introdução destas operações revelou-se particularmente relevante por demonstrar que, apesar de o *Raven* conseguir gerar automaticamente superfícies paramétricas relativamente coerentes e grafos computacionalmente organizados, o sistema não introduz autonomamente determinadas características arquitetónicas fundamentais, como espessura construtiva, hierarquia material ou definição volumétrica completa dos elementos gerados. Tal facto reforça a necessidade de intervenção humana no refinamento e consolidação da lógica arquitetónica do grafo paramétrico produzido pela IA.

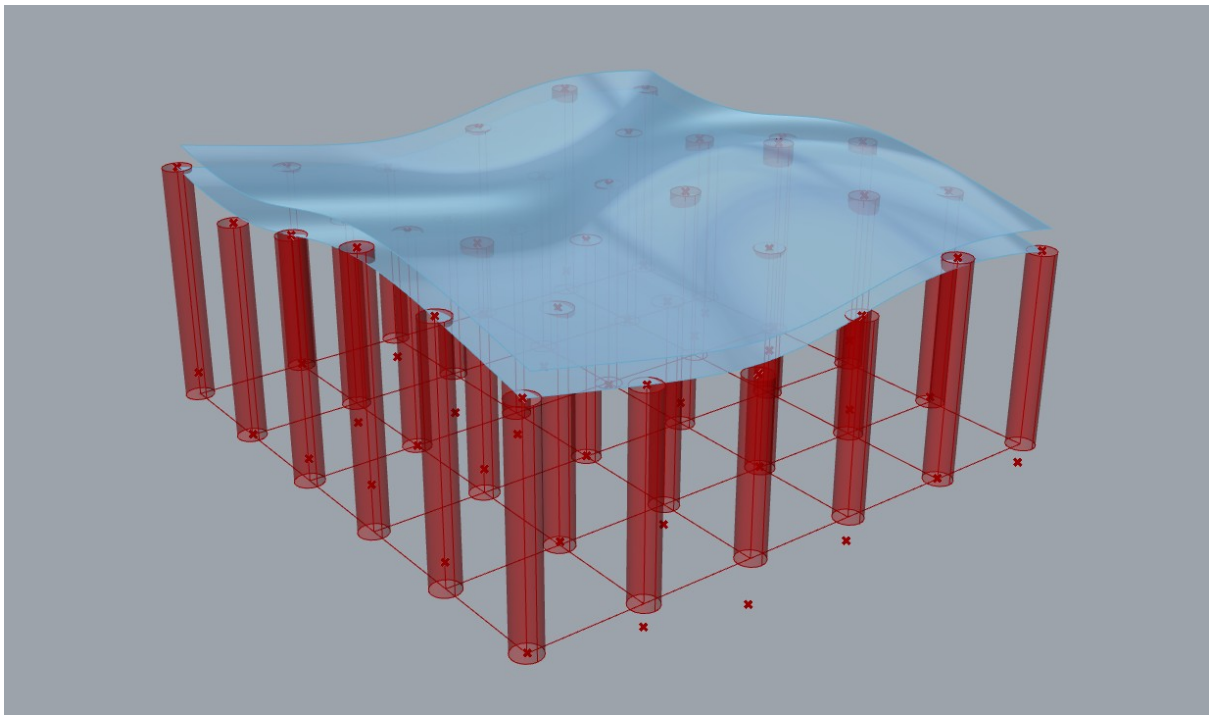


Figura 21 Sistema estrutural da cobertura após introdução manual de pilares cilíndricos parametrizados, complementando a definição originalmente produzida pelo Raven.

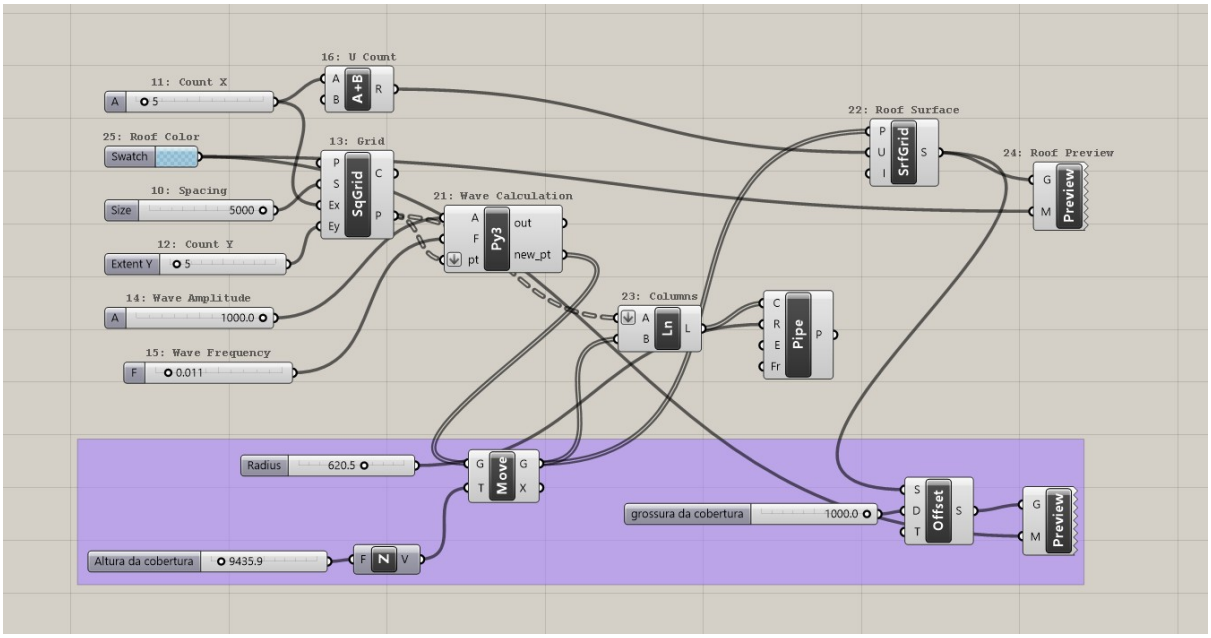


Figura 22 Grafo paramétrico após intervenção manual do investigador, incluindo controlo paramétrico da altura da cobertura, espessura volumétrica e materialização estrutural dos pilares.

3.3 Interpretação dos Resultados do Questionário

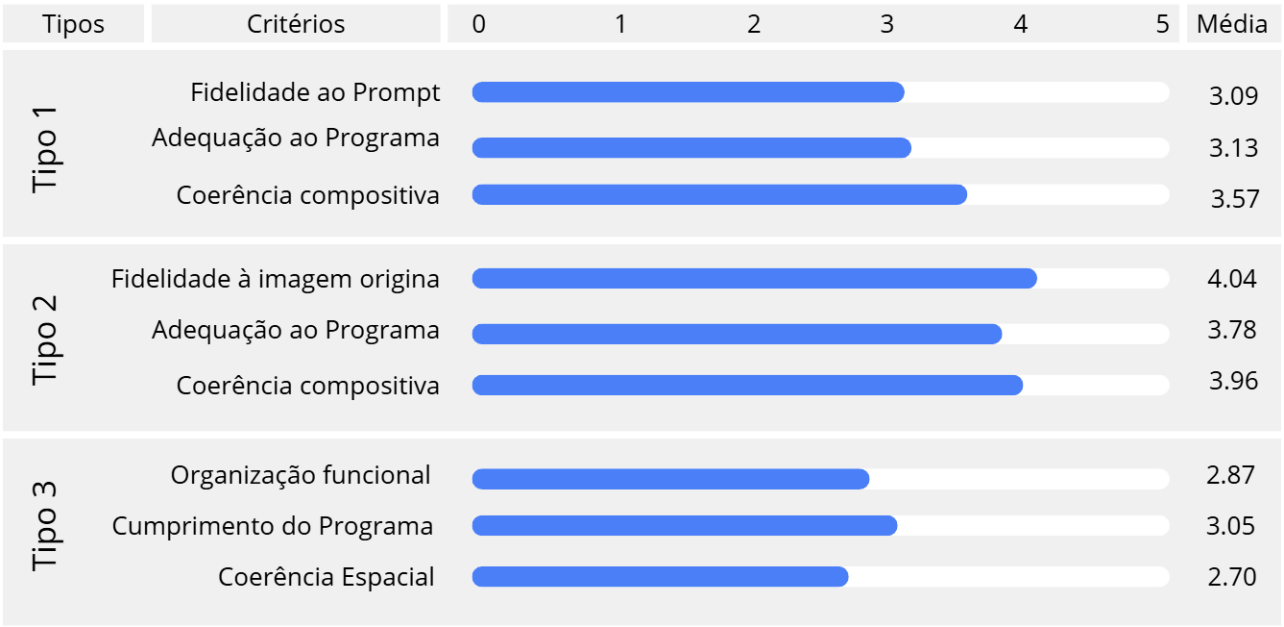


Figura 23: Comparação dos desempenhos médios das ferramentas de IA dos Tipos 1, 2 e 3 segundo os critérios de avaliação definid

A interpretação dos resultados do questionário permitiu compreender de que forma os estudantes de arquitetura percecionam a utilização de ferramentas de IA no contexto académico e profissional. A amostra analisada é constituída maioritariamente por estudantes dos anos mais avançados do curso, verificando-se igualmente que a maioria dos participantes apresenta pelo menos algum grau de familiaridade com ferramentas de IA aplicadas à arquitetura, permitindo assim uma leitura crítica e contextualizada das respostas obtidas.

Os resultados obtidos relativamente à ferramenta de Tipo 1, demonstram uma avaliação globalmente positiva, destacando-se sobretudo a coerência visual e compositiva dos resultados gerados, que apresentou a média mais elevada entre os critérios analisados. As imagens produzidas revelaram elevada consistência formal e forte capacidade de construção atmosférica e estética, originando representações visualmente convincentes.

A fidelidade ao *prompt* e a adequação ao programa e contexto apresentaram igualmente resultados positivos, embora ligeiramente inferiores, sugerindo algumas limitações na interpretação rigorosa de conceitos arquitetónicos mais específicos ou abstratos. Os comentários qualitativos recolhidos demonstraram, por exemplo, confusões conceptuais entre os termos "moderno" e "modernista", bem como interpretações superficiais associadas ao conceito de "minimalismo".

Os participantes consideraram que algumas propostas apresentavam reduzida relação com o lugar e com o contexto arquitetónico pretendido, sugerindo que a ferramenta privilegia sobretudo coerência visual e impacto imagético em detrimento de uma compreensão arquitetónica profunda do programa, da linguagem ou da contextualização espacial.

Os resultados obtidos relativamente às ferramentas de Tipo 2, demonstram uma avaliação globalmente positiva, destacando-se sobretudo a fidelidade à imagem original e a coerência visual e compositiva dos resultados produzidos. As imagens refinadas revelaram elevada capacidade de preservação dos elementos principais presentes na imagem base, mantendo simultaneamente consistência formal, espacial e estética ao longo do processo de transformação.

A adequação ao programa e contexto apresentou igualmente resultados positivos, embora ligeiramente inferiores aos restantes critérios, sugerindo algumas limitações na tradução rigorosa de instruções espaciais ou programáticas mais complexas. Apesar da elevada qualidade visual obtida, verificou-se que determinadas alterações introduzidas pelo sistema nem sempre correspondiam integralmente às intenções descritas no *prompt*.

Os resultados obtidos relativamente às ferramentas de Tipo 3, demonstram desempenhos mais moderados quando comparados com os restantes tipos de IA analisados. Os critérios de organização funcional, cumprimento do programa e coerência espacial apresentaram valores médios relativamente reduzidos, evidenciando limitações na capacidade destas ferramentas em gerar soluções arquitetónicas espacialmente consistentes e funcionalmente adequadas.

Apesar de algumas propostas demonstrarem capacidade parcial de organização e distribuição espacial, verificou-se frequentemente a presença de relações espaciais pouco coerentes, ou de pouca qualidade arquitetónica, dificuldades na articulação funcional entre compartimentos e reduzida adaptação às especificidades programáticas apresentadas.

Os comentários qualitativos recolhidos reforçam igualmente estas limitações, destacando-se observações relacionadas com a presença de uma "matriz geradora muito sistemática e repetida", incapaz de se adaptar adequadamente às adversidades específicas de cada situação projetual. Verificou-se ainda que algumas soluções apresentavam reduzida flexibilidade e limitada qualidade funcional, sugerindo que estas ferramentas tendem a operar através de lógicas espaciais relativamente rígidas e padronizadas.

Os resultados sugerem assim que, apesar da capacidade desta ferramenta em gerar distribuições espaciais preliminares de forma rápida, a tradução de requisitos arquitetónicos complexos continua a apresentar limitações significativas, particularmente ao nível da funcionalidade, adaptabilidade e qualidade espacial.

º

4 Projeções futuras da IA na Arquitetura

4.1 Limitações atuais e potencial ainda não explorado

A partir do presente estudo, foi possível identificar um conjunto de limitações recorrentes nas ferramentas de IA atualmente disponíveis no contexto arquitetónico. Apesar da elevada capacidade de produção visual e da rapidez processual demonstrada por várias das ferramentas analisadas, continuam a verificar-se limitações significativas ao nível da interpretação arquitetónica, da contextualização espacial e da coerência funcional das propostas geradas.

Observou-se que muitas destas ferramentas apresentam incapacidade de compreensão contextual associada a uma relativa superficialidade semântica, traduzindo-se frequentemente em incoerências compositivas, interpretações conceptuais imprecisas e dificuldades na tradução rigorosa de intenções arquitetónicas complexas. Estas limitações tornam-se particularmente evidentes quando os sistemas são confrontados com conceitos abstratos, históricos ou vocabulário arquitetónico especifico.

Verificaram-se igualmente fragilidades ao nível da geração espacial automática, sobretudo nas ferramentas de Tipo 3, onde diversas propostas revelaram limitações na organização funcional, articulação programática e coerência espacial. Os resultados sugerem que a geração automática de espaço arquitetónico continua ainda distante da complexidade crítica e adaptativa inerente ao processo do arquiteto.

Paralelamente, observaram-se limitações relacionadas com flexibilidade paramétrica, capacidade de adaptação e ausência de pensamento crítico autónomo, verificando-se que os sistemas operam predominantemente através de reconhecimento estatístico de padrões, sem verdadeira compreensão arquitetónica das soluções produzidas.

As limitações observadas ao longo do presente estudo, particularmente ao nível da superficialidade semântica e da reduzida compreensão contextual das ferramentas analisadas, aproximam-se das reflexões desenvolvidas por Stanislas Chaillou relativamente ao conceito de “Semanticismo”. O autor sugere que a arquitetura poderá evoluir para uma nova “Era Semântica”, na qual os sistemas de IA deixarão de operar exclusivamente através da manipulação geométrica ou estatística de padrões visuais, passando progressivamente a compreender conceitos arquitetónicos de nível superior.

Esta perspetiva sugere uma possível transição futura entre sistemas predominantemente imagéticos e ferramentas capazes de interpretar relações espaciais, intenções projetuais, linguagens arquitetónicas e significados contextuais de forma mais profunda e semanticamente estruturada. (Chaillou, 2022, p. 194)

4.2 Perspetivas futuras da IA na prática arquitetónica

As perspetivas futuras da IA na prática projetual arquitetónica sugerem uma progressiva integração destas tecnologias nas diferentes etapas do processo de projeto, ultrapassando gradualmente a sua atual utilização predominantemente experimental ou imagética. Apesar de já existirem aplicações de IA integradas em plataformas *BIM* e *softwares* de modelação, nomeadamente na automatização de tarefas técnicas, conversão de desenhos *CAD* para modelos *BIM*, preenchimento automático de informação ou organização documental, as evoluções mais recentes apontam para uma participação cada vez mais ativa da IA na própria conceção arquitetónica. Entre as possibilidades futuras mais relevantes encontra-se a integração entre IA e sistemas *BIM*, permitindo relacionar geração arquitetónica, dados construtivos, desempenho energético, compatibilização técnica e gestão de informação num único ambiente computacional integrado. (Bernstein, 2022, p. 117)

Observa-se igualmente o desenvolvimento de sistemas multimodais, capazes de combinar simultaneamente texto, imagem, grafos paramétricos, desenho técnico, modelação tridimensional e dados espaciais. Stanislas Chaillou introduz neste contexto o conceito de "Semanticismo", sugerindo uma nova abordagem na qual a IA deixa de operar apenas sobre geometria e passa progressivamente a processar abstrações multimodais, categóricas, gráficas e textuais, permitindo traduzir conceitos arquitetónicos de alto nível em soluções espaciais concretas.

Esta multimodalidade poderá permitir relações "um-para-muitos", nas quais um único *input* textual, conceptual ou esquemático origina múltiplas soluções arquitetónicas distintas, mantendo simultaneamente determinadas restrições semânticas, espaciais ou programáticas. Neste contexto, poderão emergir sistemas de geração espacial em tempo real, capazes de adaptar automaticamente propostas arquitetónicas perante alterações programáticas, funcionais ou contextuais. (Chaillou, 2022, p. 195)

Paralelamente, observa-se uma crescente tendência para processos de automatização parcial do projeto arquitetónico, particularmente em tarefas repetitivas, analíticas ou processuais. Contudo, esta automatização não sugere necessariamente substituição do arquiteto, mas sim a transformação progressiva da relação entre humano e máquina.

Neil Leach sugere a IA como uma "prótese da imaginação" (*prosthetic imagination*), defendendo que estas ferramentas poderão funcionar como extensões cognitivas capazes de ampliar as capacidades criativas, exploratórias e especulativas do arquiteto. Neste contexto, a prática arquitetónica poderá evoluir para modelos híbridos de colaboração humano-IA, nos quais o arquiteto assume progressivamente funções de direção crítica, curadoria conceptual e validação projetual. (Leach, 2022, p. 26)

Conclusão

A presente dissertação procurou compreender de que forma a IA está a influenciar a prática e a representação arquitetónicas contemporâneas. Mais do que uma tendência tecnológica passageira, a crescente integração destas ferramentas exige da arquitetura uma redefinição metodológica semelhante à transformação introduzida por *CAD* no final do século XX. Neste contexto, a investigação procurou analisar criticamente se a IA representa apenas um aumento da eficiência gráfica e processual ou se introduz um novo paradigma de colaboração entre humano e máquina no processo projetual.

Para esse efeito, foi desenvolvida uma classificação funcional das ferramentas analisadas, organizando-as em quatro tipologias operativas: Geração Conceptual de Imagem (Tipo 1), Refinamento Visual (Tipo 2), Geração e Modelação Espacial (Tipo 3) e Criação de Modelos Paramétricos (Tipo 4). Os testes realizados através das plataformas *Midjourney*, *Nano Banana*, *Architechtures* e *Raven* permitiram comparar diferentes abordagens e avaliar criticamente as suas capacidades e limitações no contexto arquitetónico.

Os resultados demonstraram diferenças significativas entre as quatro tipologias de ferramentas analisadas. As ferramentas de Geração Conceptual de Imagem (Tipo 1) revelaram uma elevada capacidade na produção de imagens atmosféricas e representações conceptuais visualmente apelativas, destacando-se pela rapidez na exploração de alternativas formais e na comunicação de intenções projetuais. Contudo, os ensaios realizados e os resultados do questionário evidenciaram limitações ao nível da coerência tectónica, funcional e construtiva das propostas geradas, indicando que, apesar da elevada qualidade visual, estas ferramentas ainda não oferecem um grau de precisão suficiente para responder de forma autónoma às exigências da prática arquitetónica. Verificou-se igualmente uma forte dependência da formulação dos *prompts* utilizados, sugerindo que parte das limitações observadas decorre não apenas das capacidades da IA, mas também da dificuldade inerente em traduzir intenções arquitetónicas complexas para linguagem textual.

As ferramentas de Refinamento Visual (Tipo 2) obtiveram os resultados mais consistentes entre todas as categorias analisadas. A sua capacidade para transformar imagens preliminares em representações visualmente mais credíveis, mantendo simultaneamente um elevado grau de controlo por parte do utilizador, revelou-se particularmente eficaz. Os resultados obtidos sugerem que estas ferramentas constituem atualmente uma das aplicações mais maduras da IA no contexto arquitetónico, apresentando um elevado potencial de integração nos fluxos de trabalho.

Por sua vez, as ferramentas de Geração e Modelação Espacial (Tipo 3) demonstraram potencial na organização volumétrica e na estruturação inicial de programas arquitetónicos, permitindo acelerar fases preliminares de conceção espacial. No entanto, registaram as avaliações mais baixas em questionário entre todas as tipologias analisadas. As limitações observadas na adaptação a contextos específicos, no desenvolvimento de soluções complexas e na articulação entre requisitos espaciais e construtivos sugerem que estas ferramentas permanecem numa fase ainda embrionária de desenvolvimento tecnológico, conclusão igualmente reforçada pelos comentários recolhidos através do questionário.

Relativamente às ferramentas de Criação de Modelos Paramétricos (Tipo 4), embora não tenham sido submetidas à avaliação por questionário, a sua análise foi desenvolvida com base nos critérios propostos por Davis (2013). Os resultados obtidos evidenciaram vantagens significativas ao nível da velocidade de trabalho, da capacidade de adaptação a alterações de projeto, da latência reduzida entre modificações e atualização do modelo, da consistência geométrica, da compreensibilidade da lógica paramétrica gerada e da possibilidade de reutilização dos sistemas produzidos. Estes fatores permitem concluir que esta categoria apresenta um elevado potencial para aplicações futuras, revelando-se coerente com os objetivos para os quais foi concebida e constituindo uma das áreas mais promissoras para a integração da IA nos processos de projeto arquitetónico.

A convergência entre os resultados dos ensaios e as respostas dos questionários sugere que a classificação funcional proposta constitui uma estrutura válida para a análise comparativa de ferramentas de IA aplicadas à arquitetura.
A investigação permitiu igualmente concluir que a IA contemporânea permanece inserida no domínio da *Narrow Artificial Intelligence*, correspondendo a sistemas especializados em tarefas específicas e dependentes de correlações estatísticas. Apesar da sofisticação dos resultados produzidos, estas ferramentas não possuem compreensão contextual, consciência ou capacidade crítica comparável à humana. Essa limitação torna-se evidente na inconsistência de determinados *outputs*, na tendência para repetição de padrões formais e na dependência constante da intervenção humana para correção, filtragem e validação dos resultados produzidos. Neste contexto, os resultados obtidos sugerem que a IA deve ser entendida, pelo menos no estado atual do seu desenvolvimento, como uma ferramenta de apoio ao arquiteto e não como um substituto da sua capacidade crítica, interpretativa e projetual.

Os ensaios realizados com as ferramentas de geração de imagem evidenciaram ainda uma limitação associada à própria linguagem enquanto meio de comunicação entre o utilizador e a IA. Verificou-se que pequenas alterações na formulação dos *prompts* podiam produzir resultados significativamente diferentes, revelando não apenas a sensibilidade dos modelos às instruções fornecidas, mas também a dificuldade inerente em traduzir intenções espaciais, formais e atmosféricas complexas para linguagem textual. Neste sentido, parte das limitações observadas não decorre exclusivamente da tecnologia, mas também da natureza da linguagem humana enquanto instrumento de descrição visual.

Além das limitações técnicas, a utilização destas ferramentas levanta também questões relacionadas com autoria, propriedade intelectual, transparência e homogeneização estética. A crescente dependência de *datasets* e modelos treinados a partir de conteúdos produzidos por terceiros levanta debates éticos relevantes, sobretudo num contexto em que a produção arquitetónica pode tornar-se progressivamente condicionada por linguagens visuais repetitivas e por referências culturais dominantes. Paralelamente, a aprovação do *EU AI Act* (União Europeia, 2024) demonstra a crescente preocupação das instituições relativamente aos riscos associados à utilização da IA, reforçando a necessidade de transparência, supervisão humana e definição clara de responsabilidades na utilização destes sistemas. Os ensaios realizados ao longo desta investigação demonstraram igualmente que o resultado produzido por estas ferramentas depende fortemente da intervenção humana, nomeadamente através da formulação dos *prompts*, da definição dos objetivos, da seleção dos

outputs e do processo iterativo de refinamento das soluções geradas. Neste sentido, permanece em aberto a questão da autoria dos conteúdos produzidos com recurso à IA, uma vez que a criação final resulta simultaneamente da capacidade generativa do sistema e do julgamento crítico exercido pelo utilizador.

Esta dependência da intervenção humana conduz igualmente à questão da responsabilidade à medida que os sistemas de IA adquirem maior influência sobre decisões projetuais. Embora os riscos associados às ferramentas de Geração Conceptual de Imagem e Refinamento Visual sejam relativamente reduzidos, uma vez que os seus *outputs* assumem sobretudo um carácter de representação visual, a situação altera-se nas ferramentas de Geração e Modelação Espacial. Os ensaios realizados demonstraram que estes sistemas podem gerar soluções espaciais visualmente plausíveis, mas que nem sempre respeitam integralmente condicionantes funcionais, regulamentares ou construtivas. Esta limitação reforça a necessidade de encarar a IA como uma ferramenta de apoio ao processo de projeto e não como um substituto do julgamento profissional. Consequentemente, a responsabilidade pelas decisões tomadas e pelas soluções desenvolvidas permanece associada ao arquiteto.

Neste contexto, torna-se evidente que a IA não substitui o arquiteto, mas altera progressivamente o seu papel no processo de projeto. O arquiteto deixa de atuar apenas como produtor direto da forma para assumir o papel de gestão, interpretação, seleção e avaliação crítica dos resultados gerados computacionalmente. O processo criativo torna-se mais iterativo e dependente da formulação estratégica de instruções, da experimentação e da capacidade crítica do utilizador. Esta transformação sugere o surgimento de novas metodologias de projeto baseadas na colaboração entre humano e máquina, nas quais o arquiteto atua como orientador do processo generativo através da formulação de intenções projetuais, parâmetros e critérios de avaliação. Neste contexto, o valor do arquiteto desloca-se progressivamente da produção direta da forma para a capacidade de interpretação, seleção e validação crítica dos resultados produzidos pelos sistemas de IA. Assim, a sua relevância profissional passa a assentar menos na execução manual do projeto e mais na direção conceptual, formulação de intenções de projeto e avaliação crítica das propostas geradas pela máquina.

Os resultados obtidos através do questionário aplicado aos estudantes de arquitetura permitiram igualmente validar, de forma geral, as conclusões obtidas durante os ensaios realizados. As ferramentas de Refinamento Visual foram consistentemente percecionadas como as mais eficazes e maduras do ponto de vista prático, corroborando os resultados observados durante a fase experimental. Em contrapartida, as ferramentas de Geração e Modelação Espacial suscitaram maiores reservas por parte dos participantes, confirmando as limitações identificadas ao nível da adaptação contextual, da coerência funcional e da maturidade tecnológica. De forma geral, verificou-se uma convergência significativa entre os resultados experimentais e a perceção dos utilizadores, reforçando a validade da classificação funcional proposta nesta investigação e das conclusões obtidas relativamente ao potencial e às limitações das diferentes categorias de ferramentas analisadas.

Importa reconhecer algumas limitações desta investigação. A rápida evolução das ferramentas analisadas implica que parte dos resultados obtidos possa sofrer alterações num curto espaço temporal. Do mesmo modo, a dimensão da amostra utilizada nos questionários e o número limitado de plataformas analisadas constituem fatores que condicionam a generalização absoluta das conclusões apresentadas.

Em suma, a IA não deve ser entendida apenas como uma ferramenta acessória, mas como uma transformação estrutural da prática arquitetónica contemporânea. O seu potencial permanece ainda em desenvolvimento, prevendo-se uma integração progressiva destas tecnologias nas diferentes etapas do processo de projeto. Contudo, o principal desafio não reside na substituição do arquiteto pela máquina, mas no risco de dependência acrítica de sistemas cuja eficiência visual pode ocultar limitações conceptuais, técnicas e éticas.

Por fim, torna-se fundamental garantir um equilíbrio entre a evolução tecnológica e a preservação do pensamento crítico arquitetónico. O futuro da arquitetura não dependerá exclusivamente da capacidade computacional das máquinas, mas da capacidade humana de interpretar, questionar e atribuir significado ao espaço construído. Neste contexto, futuras investigações poderão aprofundar a integração destas tecnologias em contextos profissionais reais, analisar a evolução dos sistemas paramétricos assistidos por IA e explorar as implicações da autoria em processos de criação colaborativa entre humano e máquina, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada do papel que estas ferramentas poderão assumir na prática arquitetónica das próximas décadas.

Referências (APA)

Akten, M. (2019, July 22). *"Artificial Intelligence" as the name of a research field vs a characteristic of being* [Online post]. Medium. https://memoakten.medium.com/artificial-intelligence-as-the-name-of-a-research-field-vs-a-characteristic-of-being-920cb5f3361e

Bernstein, P. G. (2022). *Machine Learning: Architecture in the Age of Artificial Intelligence*. RIBA Publishing.

Boden, M. A. (2016). *AI: Its Nature and Future* (1st ed.). Oxford University Press.

Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., & Amodei, D. (2020). *Language models are few-shot learners* (arXiv:2005.14165). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14165

Caetano, I., Santos, L., & Leitão, A. (2019). *Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design*.

Campo, M. del, & Leach, N. (2022). *Machine Hallucinations: Architecture and Artificial Intelligence*. John Wiley & Sons.

Chaillou, S. (2022). *Artificial Intelligence and Architecture: From Research to Practice*. Birkhäuser.

Davis, D. (2013). *Modelled on software engineering: Flexible parametric models in the practice of architecture* [PhD thesis, RMIT University]. https://research-repository.rmit.edu.au/articles/thesis/Modelled_on_software_engineering_flexible_parametric_models_in_the_practice_of_architecture/27599688

Leach, N. (2022). *Architecture in the Age of Artificial Intelligence: An Introduction to AI for Architects*. Bloomsbury Visual Arts.

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (1955, August 31). *A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence*.

McNulty, N. (2019, December 31). *Everything you've ever wanted to know about Bloom's taxonomy*. AI and Education. https://www.niallmcnulty.com/2019/12/introduction-to-blooms-taxonomy/

NVIDIA. (2024, 14 de março). *Generative AI research spotlight: Demystifying diffusion-based models*. NVIDIA Developer Blog. https://developer.nvidia.com/blog/generative-ai-research-spotlight-demystifying-diffusion-based-models/

Shelley, M. (2024). *Frankenstein ou o Prometeu Moderno* (C. Alves, Trad.; 1.ª ed.). Guerra e Paz.

Tedeschi, A., & Wirz, F. (2014). *AAD – Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper* (1st ed.). Le Penseur.

Turing, A. (1937). *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*.

Turing, A. (1950). *Computing machinery and intelligence*. University of Manchester.

União Europeia. (2024). Regulamento (UE) 2024/1689 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de junho de 2024, que cria regras harmonizadas em matéria de inteligência artificial e que altera os Regulamentos (CE) n.º 300/2008, (UE) n.º 167/2013, (UE) n.º 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1139 e (UE) 2019/2144 e as Diretivas 2014/90/UE, (UE) 2016/797 e (UE) 2020/1828 (Regulamento da Inteligência Artificial). EUR-Lex. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401689

Universitat Politècnica de Catalunya. (2022). *Artificial intelligence and architectural design* (1.ª ed.).

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (2017). *Attention is all you need* (arXiv:1706.03762). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762

Universidade do Minho
Escola de Arquitetura, Arte e Design

David José Saldanha Vieira

Arquitetura na era da inteligência artificial- Análise a uma nova geração de ferramentas

Volume II

junho de 2026

Arquitetura na era da inteligência artificial - Análise a uma nova geração de ferramentas
David José Saldanha Vieira
UMinho | 2026

A - Questionário

Arquitetura na era da inteligência artificial - Análise sobre uma nova geração de ferramentas.

Consentimento Informado

O presente estudo insere-se no âmbito da dissertação de mestrado em Arquitetura, desenvolvida na Universidade do Minho, e tem como objetivo analisar a utilização de ferramentas de inteligência artificial no contexto do processo projetual arquitetónico. Em particular, o estudo pretende avaliar a forma como diferentes tipologias de inteligência artificial contribuem para a produção, comunicação e interpretação de representações arquitetónicas.

O estudo é conduzido por David José Saldanha Vieira, estudante do Mestrado em Arquitetura da Universidade do Minho, que poderá ser contactado através do endereço de correio eletrónico davidsaldanha2009@hotmail.com para qualquer esclarecimento adicional ou partilha de comentários relacionados com a investigação.

A participação no estudo consiste na avaliação de representações arquitetónicas produzidas por ferramentas de inteligência artificial, com base em critérios previamente definidos, através do preenchimento de um questionário. A participação terá uma duração aproximada de 10 a 15 minutos.

O presente questionário foi concebido em conformidade com as normas e com o Código de Ética da Universidade do Minho, assegurando o respeito pelos princípios de voluntariedade, anonimato, confidencialidade e proteção dos participantes.

A participação é estritamente voluntária, podendo o/a participante optar livremente por participar ou não. Caso decida participar, poderá interromper a sua participação a qualquer momento, sem necessidade de justificar a sua decisão e sem qualquer prejuízo pessoal ou académico.

A participação é igualmente anónima e confidencial. Não serão recolhidos dados que permitam a identificação pessoal dos participantes. Os dados obtidos destinam-se exclusivamente a fins académicos e científicos, sendo tratados de forma agregada para efeitos de análise e divulgação dos resultados. Em nenhum momento serão analisadas ou reportadas respostas individuais.

Declaro que fui devidamente informado/a sobre os objetivos e procedimentos do estudo, que tive oportunidade de colocar questões e obter esclarecimentos, e que aceito participar voluntariamente na investigação descrita.
1.
Concorda em participar neste estudo?
*
Marcar apenas uma oval.
Sim
Não
Instruções para o preenchimento do questionário

O presente questionário encontra-se organizado em três blocos distintos, correspondentes a diferentes tipologias de inteligências artificiais aplicadas à arquitetura. Em cada bloco ser-lhe-ão apresentadas representações produzidas por uma ferramenta de inteligência artificial, acompanhadas pela informação que lhes deu origem.

Em cada caso, solicita-se que avalie os resultados apresentados com base nos critérios indicados em cada secção do questionário.

A avaliação será realizada por meio de uma escala do tipo Likert de cinco pontos, devendo basear-se exclusivamente na informação apresentada em cada bloco, considerando a relação entre os dados fornecidos e os resultados apresentados.

2.
Ano do curso de Arquitetura.*

Marcar apenas uma oval.
1 ano
2 ano
3 ano
4 ano
5 ano
3.
Grau de familiaridade com ferramentas de inteligência artificial aplicadas à arquitetura. *
Marcar apenas uma oval.
1 (nada familiarizado)
2 (um pouco familiarizado)
3 (familiarizado)
4 (consideravelmente familiarizado)
5 (muito familiarizado)

Tipo 1: Geração Conceptual de Imagem

Ferramenta utilizada: Midjourney

Prompt utilizado: "Two-story modernist house designed for a sculptor, clean geometric composition and minimalist architectural language. The house is elevated above the ground on slender pilotis and partially integrated into a sloped terrain. It features a central open-air exhibition courtyard containing a large monumental sculpture, with a strong relationship between interior and exterior spaces. The structure is made of exposed board-formed concrete. The building is located within a dense natural forest, surrounded by permeable ground surfaces such as gravel, compacted earth, or permeable paving (no exterior concrete flooring). Realistic architectural photography, full color image with natural material tones, soft warm daylight, eye-level perspective, high detail, 35mm lens."



4.

1.1 Fidelidade ao Prompt

A imagem respeita de forma rigorosa os elementos explicitamente descritos no *prompt* apresentado?

*

Marcar apenas uma oval.

1 (não respeita)
2 (não respeita muito bem)
3 (respeita)
4 (respeita bem)
5 (respeita exatamente)

5.

1.2 Adequação ao Programa e Contexto

O resultado traduz de forma coerente o programa, o contexto e as características espaciais descritas no *prompt*?

*

Marcar apenas uma oval.
1 (não traduz)
2 (não traduz muito bem)
3 (traduz)
4 (traduz bem)
5 (traduz exatamente)
6.
1.3 Coerência visual e compositiva:

A imagem apresenta consistência formal e espacial, sem contradições visuais evidentes?

*

Marcar apenas uma oval.
1 (nenhuma consistência)
2 (alguma consistência)
3 (consistência satisfatoria)
4 (boa consistência)
5 (consistência absoluta)
7.
1.*4 Algum comentário sobre os resultados apresentados neste bloco que considere relevante?* (opcional)

Tipo 2: Refinamento Visual de Imagem

Ferramenta utilizada: Nano Banana

Imagem original a cima, imagem gerada a baixo.

Prompt utilizado: Transform this architectural model into a realistic high-quality render of a beach house located in Porto Santo, Madeira. Use local materials typical of Porto Santo, including light sandstone stone cladding and warm sandy tones. Apply light-colored ceramic roof tiles typical of Portuguese coastal architecture. Natural warm Atlantic sunlight, bright clear sky, soft shadows, coastal atmosphere. Add subtle weathering to materials due to sea air. Realistic glass reflections, natural vegetation typical of Porto Santo (low shrubs, dry grasses, palm trees). Neutral warm color palette, high detail, photorealistic rendering, professional architectural visualization.



8.

2.1 Fidelidade à imagem original

A imagem gerada respeita de forma rigorosa os elementos presentes da imagem original?

*

Marcar apenas uma oval.
1 (não respeita)
2 (não respeita muito bem)
3 (respeita)
4 (respeita bem)
5 (respeita exatamente)
9.
2.2 Adequação ao Programa e Contexto

O resultado traduz de forma coerente o programa, o contexto e as características espaciais descritas no *prompt*?

*

Marcar apenas uma oval.
1 (não traduz)
2 (não traduz muito bem)
3 (traduz)
4 (traduz bem)
5 (traduz exatamente)
10.
2.3 Coerência visual e compositiva:

A imagem apresenta consistência formal e espacial, sem contradições visuais evidentes?

*

Marcar apenas uma oval.
1 (nenhuma consistência)
2 (alguma consistência)
3 (consistência satisfatoria)
4 (boa consistência)
5 (consistência absoluta)
11.
2.*4 Algum comentário sobre os resultados apresentados neste bloco que considere relevante?* (opcional)

Tipo 3: Geração e Modelação Espacial

Ferramenta utilizada: Architectures

O programa definido contempla um total de 60 apartamentos, distribuídos por 40 T1 e 20 T2, todos com varandas associadas aos quartos. A organização do edifício deverá basear-se num corredor central de distribuição, incluindo ainda uma zona comercial ao nível do piso térreo.

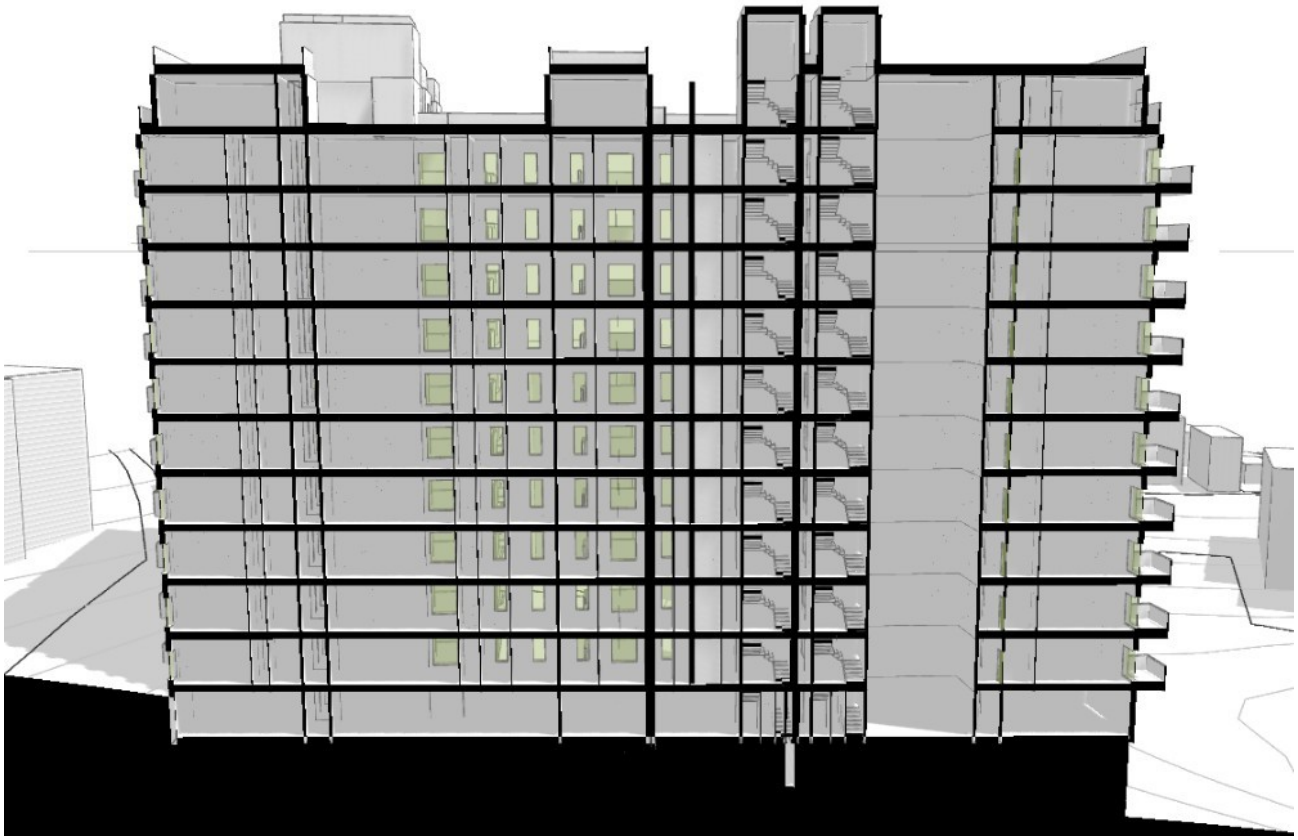
3D do edifício gerado.



Planta do edifício gerado.



Corte do edifício gerado.



12.
3.1 Organização Funcional

A solução apresenta uma organização funcional coerente com o programa proposto?
Marcar apenas uma oval.
1 (não apresenta)
2 (apresenta com muitas dificuldades)
3 (apresenta com alguma coerencia)
4 (apresenta com muita coerencia)
5 (apresenta com absoluta coerencia)
13.
3.2 Cumprimento do Programa

A proposta cumpre os requisitos programáticos definidos (número de espaços, funções, relações)?
Marcar apenas uma oval.
1 (não cumpre)
2 (cumpre apenas alguns)
3 (cumpre metade)
4 (cumpre a grande maioria)
5 (cumpre prefeitamente)
14.
3.3 Coerência Espacial

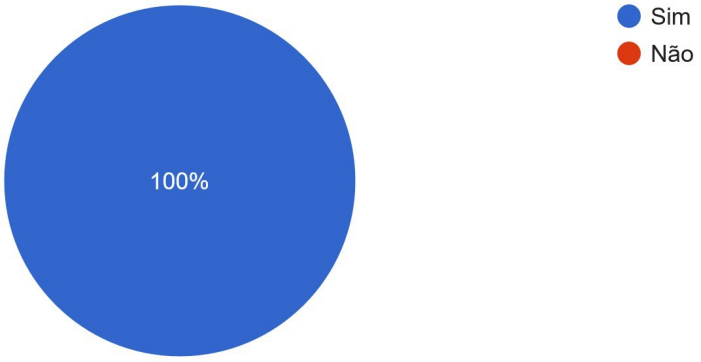
Os espaços apresentam relações coerentes entre si (circulação, hierarquia, continuidade)?
Marcar apenas uma oval.
1 (não apresenta)
2 (apresenta com muitas dificuldades)
3 (apresenta com alguma coerencia)
4 (apresenta com muita coerencia)
5 (apresenta com absoluta coerencia)
15.
3.*4 Algum comentário sobre os resultados apresentados neste bloco que considere relevante?*
(opcional)

B - Respostas ao questionário

Consentimento Informado

Concorda em participar neste estudo?

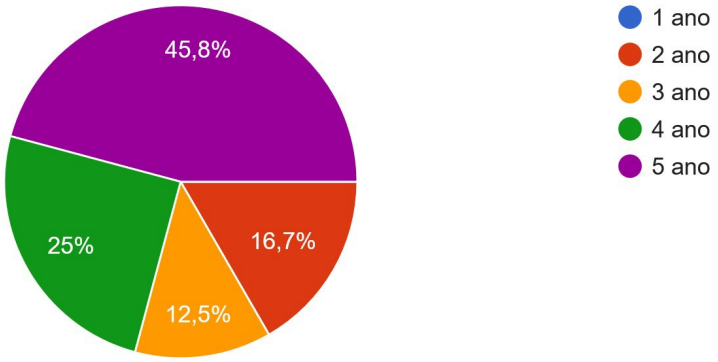
24 respostas



Instruções para o preenchimento do questionário

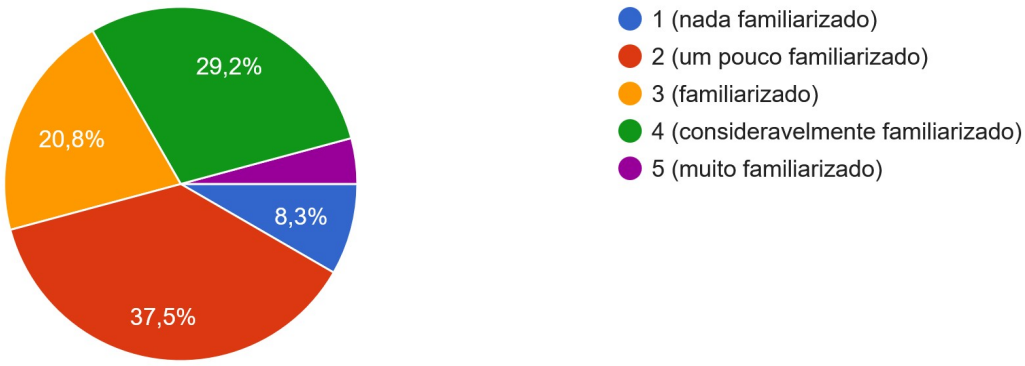
Ano do curso de Arquitetura.

24 respostas



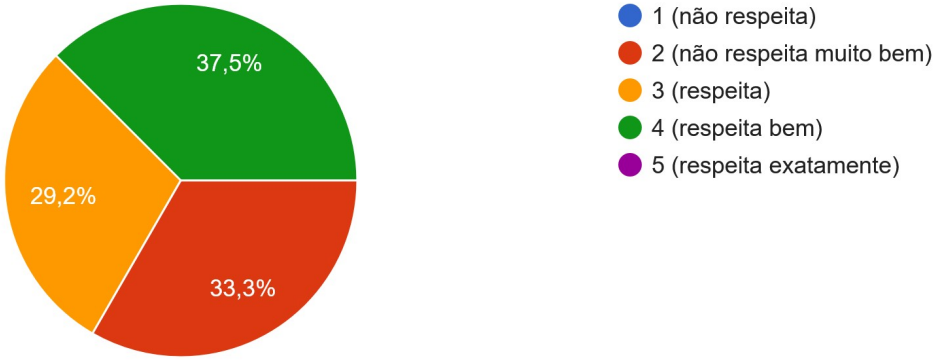
Grau de familiaridade com ferramentas de inteligência artificial aplicadas à arquitetura.

24 respostas



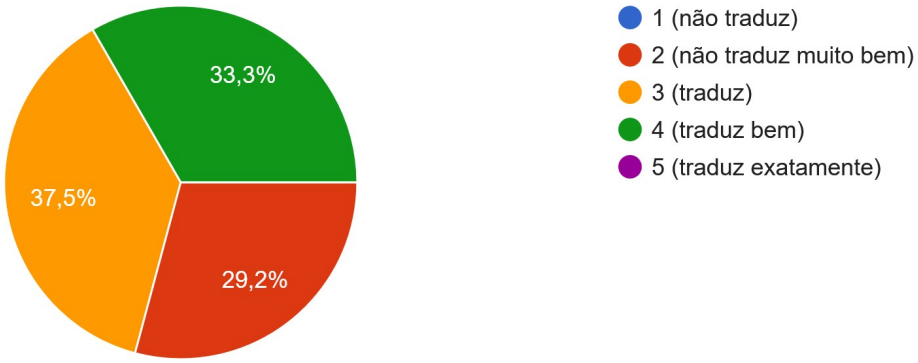
1.1 Fidelidade ao Prompt A imagem respeita de forma rigorosa os elementos explicitamente descritos no prompt apresentado?

24 respostas



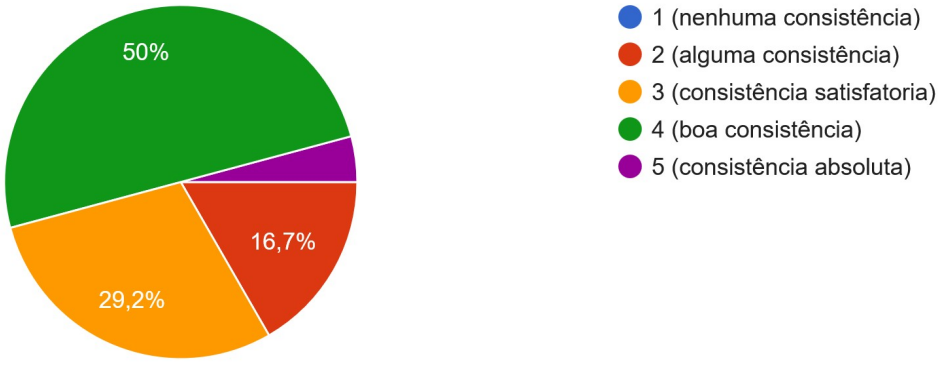
1.2 Adequação ao Programa e Contexto O resultado traduz de forma coerente o programa, o contexto e as características espaciais descritas no prompt?

24 respostas



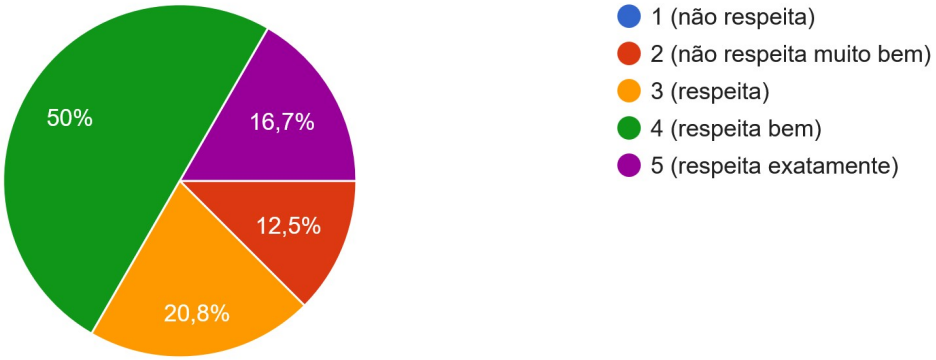
1.3 Coerência visual e compositiva: A imagem apresenta consistência formal e espacial, sem contradições visuais evidentes?

24 respostas

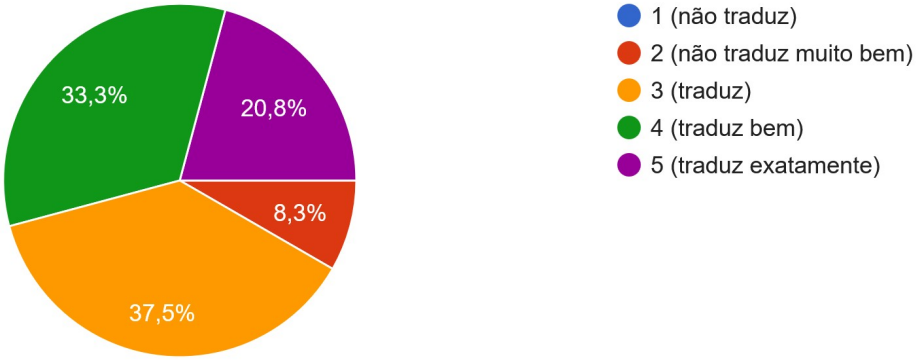


1.*4 Algum comentário sobre os resultados apresentados neste bloco que considere relevante?* (opcional)
2 respostas
Acho que o conceito de modernista e moderno foram misturados pelo programa
erros estilísticos acerca do uso do “minimalismo”, do uso da “linguagem” em uma ferramenta de reprodução de imagem e a habitação não mantêm qualquer ligação com o lugar.

2.1 Fidelidade à imagem original A imagem gerada respeita de forma rigorosa os elementos presentes da imagem original?
24 respostas

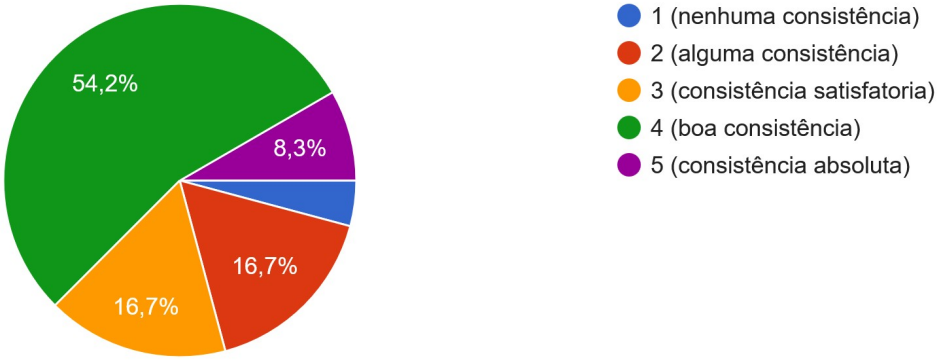


2.2 Adequação ao Programa e Contexto O resultado traduz de forma coerente o programa, o contexto e as características espaciais descritas no prompt?
24 respostas



2.3 Coerência visual e compositiva: A imagem apresenta consistência formal e espacial, sem contradições visuais evidentes?

24 respostas



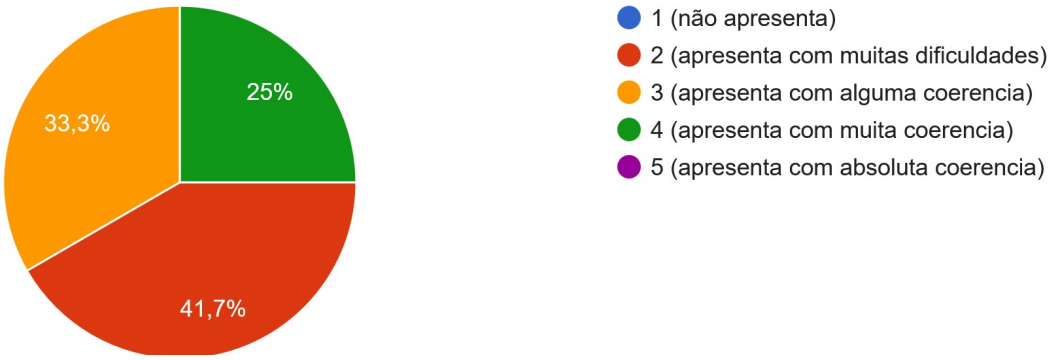
2.*4 Algum comentário sobre os resultados apresentados neste bloco que considere relevante?* (opcional)

1 resposta

Apenas adicionou elementos visuais, uma vez que a forma está feita.

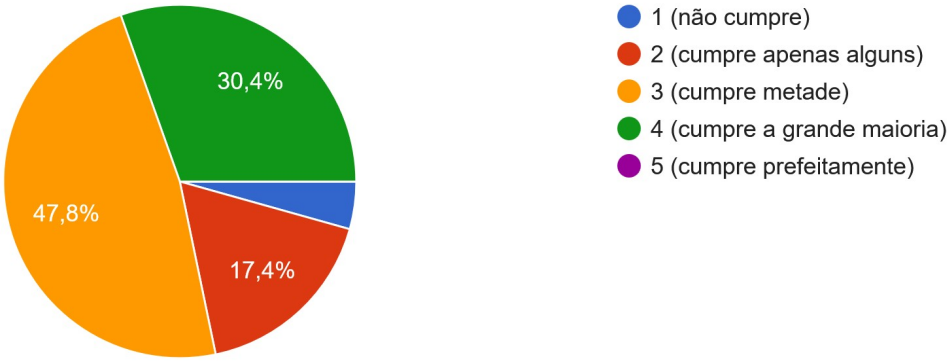
3.1 Organização Funcional A solução apresenta uma organização funcional coerente com o programa proposto?

24 respostas



3.2 Cumprimento do Programa A proposta cumpre os requisitos programáticos definidos (número de espaços, funções, relações)?

23 respostas



3.3 Coerência Espacial Os espaços apresentam relações coerentes entre si (circulação, hierarquia, continuidade)?

24 respostas

