

Inteligência em edifícios, desenvolvimento de uma base ontológica e uma análise comparativa para caracterização do conceito

Building intelligence, development of an ontological basis
and a comparative analysis to characterize the concept

Douglas Lopes de Souza

Universidade Estadual de Campinas | Campinas | Brasil | d229316@dac.unicamp.br

Lucas de Santana Gonçalves

Universidade Estadual de Campinas | Campinas | Brasil | l190091@dac.unicamp.br

Natália Nakamura Barros

Universidade Estadual de Campinas | Campinas | Brasil | n153213@dac.unicamp.br

Regina Coeli Ruschel

Universidade Estadual de Campinas | Campinas | Brasil | ruschel@unicamp.br

Resumo

A quantidade de pesquisas e publicações acerca do termo “inteligência” tem aumentado significativamente em diferentes áreas de pesquisa e é clara a ausência de precisão e convergência de conceitos correlatos aplicados a sistemas e produtos da construção civil. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma análise qualitativa indutiva entre as diferentes caracterizações do termo “inteligência” nas áreas de ciência da computação e o termo associado a arquitetura e tecnologia do edifício. Foi realizada uma comparação por argumentação lógica. Como resultado apresentamos critérios conceituais que permitem atribuir a qualidade de inteligente aos edifícios.

Palavras-chave: Análise qualitativa. Inteligência artificial. Sistemas inteligentes. Edifício inteligente.

Abstract

The amount of research and publications with the term “intelligence” has increased significantly in different areas of research and there is a clear lack of precision and convergence of related concepts applied to civil construction systems and products. This work aims to develop a qualitative inductive analysis between the different characterizations of the term “intelligence” in the areas of computer science and the term associated with architecture and technology of the buildings. A comparison was made by logical argumentation. As a result, we present conceptual criteria that allow us to attribute the quality of intelligence to buildings.

Keywords: Qualitative analysis. Artificial intelligence. Intelligent systems. Smart building.



Como citar:

SOUZA, D. L. de .; GONÇALVES, L. de S.; BARROS , N. N.; RUSCHEL , R. C. Inteligência em edifícios, desenvolvimento de uma base ontológica e uma análise comparativa para caracterização do conceito. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 3., 2021, Uberlândia. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1-8. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/585>. Acesso em: 3 ago. 2021.

INTRODUÇÃO

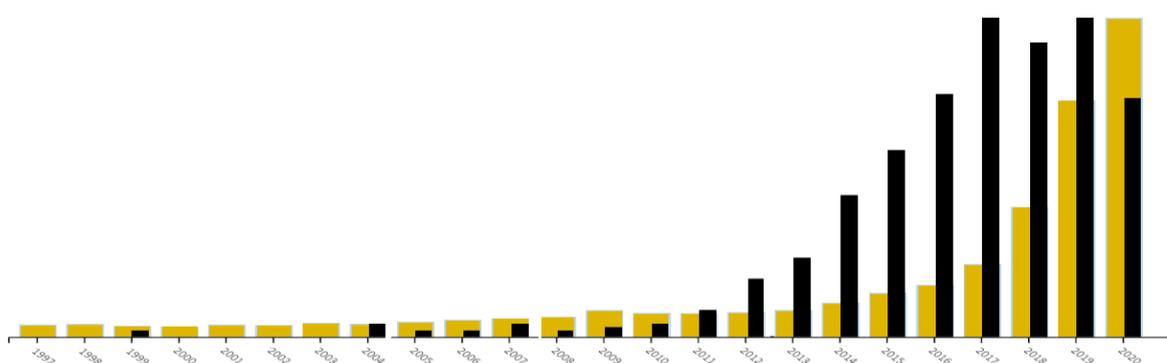
Nos últimos anos têm sido observadas diferentes tentativas de exploração criativa da inteligência artificial e da computação em diferentes campos do conhecimento [1][2]. Esta exploração atravessa diferentes interpretações da natureza maquina por trás dos sistemas computacionais e físicos que produzem artefatos “inteligentes”. Alguns autores abordam iniciativas que tratam a máquina como a promulgação de um novo ser, mesmo que artificial, enquanto outros mantêm a visão de um sistema especialista de alta performance.

A atual disseminação e popularização do termo “inteligência artificial” (IA) [3] tem movido o debate para além da lógica axiomática dos primeiros textos sobre o termo para uma discussão ontológica. Isso faz com que tenhamos uma “filosofia digital” para além de uma formalização do processo de pensamento [4].

As recentes publicações do Fórum Econômico Mundial mostram como a inteligência artificial está vinculada direta e indiretamente a setores distintos como economia, indústria 4.0, manufatura, valores, energia, privacidade, empreendedorismo, dentre outros [5][6].

A quantidade de pesquisadores, recursos, eventos, sofreu grande crescimento na transição do século XX para o século XXI [7]. Nos últimos 4 anos a quantidade de artigos publicados sob o tema inteligência artificial tem crescido a uma taxa de 50% ao ano. Na figura 1 é possível perceber a taxa de evolução da produção de artigos de eventos e periódicos em todas as áreas do conhecimento (em amarelo) e restrita à Arquitetura, Construção e Tecnologia do Edifício (em preto).

Figura 1: Comparativo do total de produção acadêmica com as palavras-chave “inteligência artificial”



Fonte: os autores.

Diversas áreas de conhecimento iniciaram pesquisa com este termo. Das pesquisas indexadas na base *Web of Science* sob o tema “inteligência artificial”, 85% estão dispersas em 25 diferentes áreas de pesquisa.

Diversas conferências atuais debruçam sobre o tema da discussão teórica sobre a inteligência na arquitetura, o que evidencia a importância desse debate no contexto atual. Escritórios de arquitetura com ampla relevância mundial indicaram a participação de aprendizado de máquina como o maior potencial para o campo, até mesmo à frente do BIM [8].

A tentativa de definição do termo inteligência não é unânime em nenhuma área do conhecimento. As definições existentes variam entre as mais específicas e as mais generalizadas e em diferentes abordagens teóricas, apesar de possuírem uma direção conceitual bem coesa.

No campo de pesquisa da computação a compreensão do termo “inteligência” já foi objeto de estudo de diversas pesquisas anteriores como será apresentado aqui. Legg e Hutter [9], por exemplo, sintetizaram diversas interpretações sobre inteligência tanto na psicologia como em dicionários e em pesquisas relacionadas à IA. Esta pesquisa reúne e atualiza mais referências que aprimoram esta compreensão.

Dada a variabilidade de áreas de pesquisa, quantidade de publicações recentes, e apelo comercial do termo, percebemos a ausência de precisão e convergência de conceitos sob a temática “inteligência” quando aplicado à arquitetura e tecnologia do edifício.

Portanto, o objetivo é desenvolver uma análise comparativa entre as diferentes caracterizações do termo “inteligência” nas áreas de computação e da arquitetura e tecnologia do edifício. Esta comparação organiza os conceitos no campo da ciência da computação e alinha possíveis extensões destes conceitos para o ambiente construído sob o termo “edifício inteligente”.

MÉTODO

Os principais dados desta pesquisa são de natureza textual, baseados em citações extraídas de trabalhos de diferentes épocas e autores no campo da inteligência artificial ou computacional. Como forma de análise deste conteúdo visando a extração de novos sentidos, inicialmente aplicamos análise qualitativa indutiva [10]. Esta análise trata de uma sistematização de categorias obtidas pela leitura de parágrafos específicos dos textos (unidades de contexto) visando a identificação de padrões de características que posteriormente serão alvo de uma classificação semântica.

O protocolo deste método, apresentado no Quadro 1, inicia com a leitura flutuante e seleção de textos para definição de hipóteses e objetivos da análise. Em seguida são definidos os indicadores, palavras ou expressões, a serem buscados nos textos que formam o corpus desta pesquisa. Nesta pesquisa selecionamos os indicadores “sistemas”, “elementos”, “máquinas” ou “agentes” inteligentes. Na etapa seguinte foi feita a leitura exploratória para buscar os indicadores e permitir a extração das características a eles relacionadas. Nesta pesquisa selecionamos como categorias os objetivos e os atributos dos indicadores mencionados. Na etapa seguinte estas categorias foram organizadas e encaminhadas para uma classificação semântica na fase final de interpretações. A classificação semântica foi conduzida segundo o método da argumentação lógica que toma um conjunto de fatores previamente díspares e os interconectam em estruturas unificadas com maior poder de elucidação [11].

Quadro 1: Resumo do protocolo de análise

Pré-análise	Exploração do material	Resultados e interpretações	Análise final
Leitura Flutuante Escolha dos documentos e constituição do corpus de documentos Formulação de Hipóteses e objetivos Definição de indicadores	Leitura exploratória Extração de categorias	Seleção dos resultados Inferências Interpretação	Argumentação lógica

Fonte: os autores.

A classificação semântica sinalizou novas categorias, mais abrangentes e que foram usadas para analisar as classificações propostas por Russel e Norvig [12] e Hu [13] sobre agentes e edifícios inteligentes.

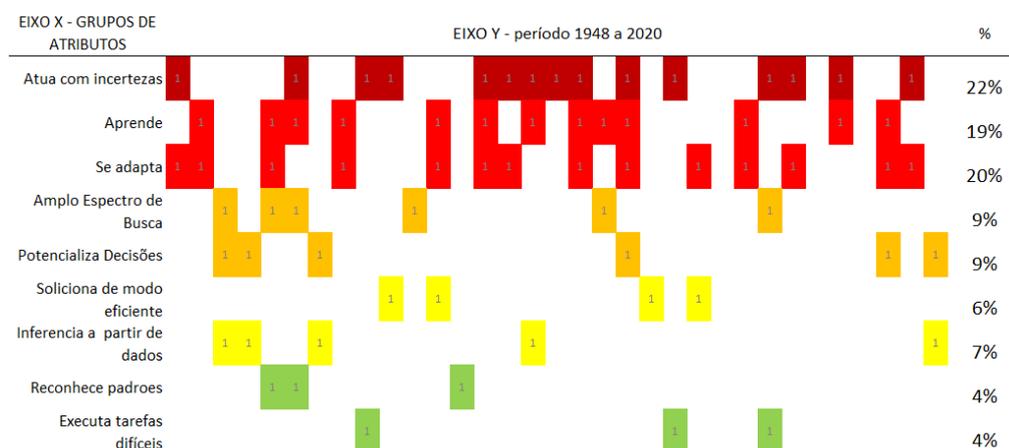
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pré-análise expandiu a lista preparada por Legg e Hutter [9] e permitiu a seleção de 32 trabalhos envolvendo artigos científicos e livros de maior relevância na área de computação, inteligência artificial ou inteligência computacional. A seleção foi orientada pela quantidade de citações e precisão conceitual dos textos. Nesta primeira seleção observamos que os trabalhos que definiam o termo “inteligência” nestas áreas do conhecimento estavam publicados entre 1943 a 2021.

Em seguida, iniciamos a exploração do material extraíndo as categorias “objetivo” e “atributos” dos índices (sistemas, máquinas ou agentes inteligentes). A reunião das categorias gerou 59 atributos com diferentes graus de similaridade como “sistema amplamente adaptativo”, “opera em ambientes complicados”, “atua em ambiente que está em mudança”, entre outros.

Na fase de inferência e interpretação foi possível indicar 9 grupos de atributos por meio da classificação semântica dos termos extraídos. Estes grupos estão representados na primeira coluna na Tabela 1 e organizam dentro deles todos os termos mencionados pelos autores. A tabela evidencia os grupos de atributos referentes à capacidade da máquina, sistema ou agente de atuar em ambientes incertos ou com pouca informação, de aprender ou adquirir conhecimento e de se adaptar para atuar em ambientes incertos. Estes três agrupamentos representam 61% dos atributos das entidades inteligentes mencionadas pelos autores.

Tabela 1: Distribuição de atributos por ano



Fonte: os autores.

Wong e Li [14], de modo similar, reuniram 150 atributos de edifícios inteligentes e indicaram alguns sistemas de maior importância para o edifício inteligente. Os atributos coletados cobrem amplo espectro de conceitos como automação, responsividade, integração e inteligência artificial. Apesar disso, o modelo conceitual dos autores se restringe à definição de inteligência pela composição de diferentes sistemas no edifício. Para eles, estes sistemas deveriam ser orientados por critérios genéricos de eficiência como eficiência de custo e de trabalho.

Desta forma, a partir dos de grupos de atributos revelados por nossa seleção inicial de 32 artigos e 59 atributos, demos início à análise de duas referências bibliográficas com significativa importância neste campo de estudo e que possuem diferentes estruturas de classificação de elementos inteligentes. Estas estruturas estão voltadas não apenas para os sistemas constituintes como feito por Wong e Li[14], mas em como estes sistemas qualificam artefatos inteligentes, seja ele um agente (integração entre hardware e software) ou um edifício. O Quadro 2 apresenta a classificação de agentes inteligentes por Russel e Norvig [12] e está no contexto de ciência da computação. O Quadro 3 apresenta a classificação e edifícios inteligentes de Hu [13] e está no contexto de arquitetura e edificações.

Quadro 2: Classificações de agentes inteligentes em Russel e Norvig [12]

Tipo de agente	Descrição
Reativos simples	Selecionam ações com base na sua percepção do ambiente. Não considera o histórico ou ações anteriores. Possuem inteligência limitada.
Reativos baseados em modelo	Como o reativo simples, mas dependem de uma percepção de um estado anterior para inferir uma solução à condição atual. Deve possuir um “modelo de mundo” que estabelece as regras para sua ação.
Baseados em objetivo	Como o anterior, mas não opera somente como uma reação ao ambiente, mas segundo um objetivo a ser alcançado. O objetivo determina a escolha das melhores ações para alcançá-lo segundo um problema de busca. Permite ajuste de seus comportamentos, enquanto no caso do agente reativo baseado em modelo, seria necessário declarar todos os estados possíveis.
Baseados na utilidade	Além de operarem com objetivo, estes agentes executam uma medida de desempenho para atingir seu objetivo. Desta forma o agente irá escolher a solução que maximize sua medida de desempenho até mesmo em situações de incerteza.

Fonte: os autores, adaptado de [12].

Quadro 3: Classificação de edifícios inteligentes em Hu [13]

Modelos	Descrição
Edifícios automatizados (1980s-2000)	Equivalente à automação de sistemas com objetivo primário a redução de energia e aumento da performance do edifício, depende de um sistema de funcionamento que é pré-determinado.
Edifícios inteligentes (2000-2015)	Possuem dados coletados em tempo real tanto do uso quanto do ambiente externo. É uma operação de gestão em tempo real, possuem sistemas conectados e ampliam a experiência do usuário. Ajusta as operações do edifício a dados obtidos em tempo real. Todo o sistema integrado do edifício é maior que a soma de suas partes.
Edifícios cognitivos (2015 - ?)	Diferente dos edifícios inteligentes que possuem um algoritmo de controle de sistemas, estes possuem um algoritmo ajustável que pode aprender a partir dos dados reais de seus ocupantes, prever e adaptar as suas operações.

Fonte: os autores, adaptado de [13].

O edifício cognitivo é derivado da teoria computacional da arquitetura cognitiva que trata da capacidade de uma máquina como sistema similar à estrutura da mente humana. Neste sentido o edifício seria capaz de tomar decisões processuais de modo similar a uma inteligência artificial geral [15][12] aprendendo com os dados coletados, prevendo e ajustando o comportamento futuro de salas e seus ocupantes. Desta forma além dos ativos físicos, o edifício passa a possuir ativos digitais que seriam os modelos, análises e dados coletados pelo edifício.

Por outro lado, Russel e Norvig [12] entendem que a inserção da capacidade de aprendizado nos agentes inteligentes não cria uma categoria de inteligência, mas amplia as capacidades das anteriores. Com esta propriedade as ações do agente seriam elaboradas a partir de boas soluções que foram tomadas. Suas soluções seriam melhoradas por critérios de crítica e experimentação de novas alternativas permitindo um ganho significativo na performance a longo prazo [12].

Outro ponto central no trabalho de Russel e Norvig [12] é de que um agente inteligente existe, necessariamente, por meio de sua interação com o ambiente. O agente deve monitorar o estado do mundo, projetar, avaliar e selecionar futuros cursos de ação e usar o critério de utilidade como expressão de preferências [12] em direção à realização de seus objetivos. Este seria maior nível de inteligência apesar de que um sistema reativo simples, que colete temperatura do ar e determine uma ação a partir deste dado, ainda ser um agente inteligente de menor grau. Esse entendimento de Russel e Norvig [12] também é evidente nos primeiros trabalhos que anunciaram o termo na década de 1950 de Alan Turing [16], Misnky [17] e MacCarthy [18].

Esta composição referenda a informação obtida pela Tabela 1 que apresenta como principais atributos de inteligência a atuação com incertezas, aprendizado e adaptação. Portanto, podemos concluir que edifícios baseados em sistemas automatizados, programados para determinadas ações restritas que não usam registro do ambiente para tomada de ações sem a intervenção humana não podem ser considerados inteligentes.

Segundo o conjunto de análises feitas por este trabalho, a condição de inteligência é determinada pelas capacidades de interação com meio ambiente, mas é ampliada pela interação entre sistemas e uso de algoritmos e sistemas físicos adaptáveis. É importante compreender que a argumentação que está apresentada indica o edifício

como agente inteligente e, portanto, é válida sua classificação com tal atributo porque é habilitado a controlar totalmente seu próprio ambiente [19].

CONCLUSÃO

Os principais artigos que foram publicados na área da ciência da computação possuem sob o tópico “inteligência” possuem coesão conceitual sobre o entendimento dos atributos que definem uma entidade inteligente. As variações deste entendimento acabam por se diferenciar fundamentalmente em graus de inteligência, mas foi percebida a necessidade de interação entre a entidade inteligente e seu ambiente. Esta interação se inicia pela capacidade de registrar ou perceber de forma autônoma algum dado externo e, a partir daí agir para cumprir os objetivos para os quais foi proposto. O ambiente pode ser definido como um cenário de poucas ou múltiplas variáveis que torna este ambiente mais ou menos complexo e dinâmico e, portanto, exige soluções com mais ou menos capacidade de adaptação. Para situações mais complexas, dependeremos de sistemas (computacionais e físicos) carregados de mais inteligência, enquanto em cenários mais simples ou triviais alcançamos objetivos com pouca inteligência embarcada.

Neste sentido, esta pesquisa indica que edifícios compostos por sistemas que seguem uma programação determinada a priori, como acender as luzes em determinado horário, são edifícios automatizados, mas não contemplam os atributos que podem defini-los como inteligentes.

Esta pesquisa ainda aponta para a necessidade de aprimoramento da classificação de edifícios inteligentes ampliando o corpus de referências para aprimorar os resultados apresentados. Também é viável o desenvolvimento de análises similares, restritas à referências da área de edificações para expandir o trabalho desenvolvido por Hu [13]. Espera-se que este trabalho registre de modo sistemático a evolução do conceito de edifício inteligente e contribua para compreensão sobre o impacto destas tecnologias e seus procedimentos aos gestores da edificação. Também espera-se esclarecer com maior precisão a adoção do conceito de inteligência de em arquitetura e construção.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 88882.435512/2019-01 e 88887.480080/2020-00, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ)

REFERÊNCIAS

- [1] FAZI, M. B. Can a Machine Think (Anything New)? Automation beyond Simulation. **AI & SOCIETY**, v. 34, n. 4, p. 813–824, dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00146-018-0821-0>

- [2] GOEL, A. K.; DAVIES, J. Artificial Intelligence. In: STERNBERG, Robert J. (Org.). **The Cambridge Handbook of Intelligence**. Cambridge Handbooks in Psychology. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. p. 602–625.
- [3] YAMPOLSKIY, R. V. Predicting future AI failures from historic examples. **Foresight**, v. 21, n. 1, p. 138–152, jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/FS-04-2018-0034>
- [4] CHAITIN, G. Leibniz, information, math and physics. In: CHAITIN, G. **Thinking about Gödel and Turing: essays on complexity**. Singapore: World Scientific, 2007. p. 227–240.
- [5] WEF, WORLD ECONOMIC FORUM. **Global Technology Governance Report 2021: Harnessing Fourth Industrial Revolution Technologies in a COVID-19 World**. [S.l.]: World Economic Forum, 2020.
- [6] **Strategic Intelligence | World Economic Forum**. Disponível em: <<https://intelligence.weforum.org>>. Acesso em: 2 fevereiro 2021.
- [7] MUEHLHAUSER, L. **How Big Is the Field of Artificial Intelligence?** Disponível em: <<https://intelligence.org/2014/01/28/how-big-is-ai/>>. Acesso em: 6 fev. 2021.
- [8] GALLO, G.; WIRZ, F.; TUZZOLINO, G. The role of Artificial Intelligence in architectural design: conversation with designers and researchers. In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARCHITECTURE AND BUILT ENVIRONMENT, 2020, Tokyo, Japan. **Proceedings [...]** Tokyo, Japan: [s.n.], 2020.
- [9] LEGG, S.; HUTTER, M. A Collection of Definitions of Intelligence. In: ADVANCES IN ARTIFICIAL GENERAL INTELLIGENCE: CONCEPTS, ARCHITECTURES AND ALGORITHMS, 2007, Amsterdam. **Proceedings [...]** Amsterdam: IOS Press, jun. 2007. p. 17–24.
- [10] BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.
- [11] GROAT, L. N.; WANG, D. **Architectural research methods**. 2. ed. New York: J. Wiley, 2013.
- [12] RUSSEL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A modern Approach**. 3. ed. New Jersey: Pearson, 2016.
- [13] HU, M. **Smart Technologies and Design For Healthy Built Environments**. Switzerland: Springer International Publishing, 2021.
- [14] WONG, J.; LI, H. Development of a Conceptual Model for the Selection of Intelligent Building Systems. **Building and Environment**, v. 41, n. 8, p. 1106–1123, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.021>
- [15] FJELLAND, R. Why General Artificial Intelligence Will Not Be Realized. **Humanities and Social Sciences Communications**, v. 7, n. 1, p. 1–9, 17 jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-020-0494-4>
- [16] TURING, A.M. Computing Machinery and Intelligence. **Mind**, v. 59, n. 236, p. 433–460, 1950.
- [17] MINSKY, M. **Some Methods of Artificial Intelligence and Heuristic Programming**. Paper. California: Department of Special Collections and University Archives, Stanford University, 1958. Disponível em: <<https://exhibits.stanford.edu/feigenbaum/catalog/jw852jy7021>>. Acesso em: 11 fevereiro de 2021.
- [18] MCCHARTY, John. **What is artificial intelligence?** Technical report. California: Computer Science Department, Stanford University, 2007.
- [19] STUBBINGS, M. **Intelligent Buildings: An IFS Executive Briefing**. Berlin: Springer-Verlag, 1988.