

Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia

Felipe André Stabile de Oliveira

Luis Felipe Vallilo Sierra

Matheus Bastos Aggio

**GÊMEOS DIGITAIS: A INTEGRAÇÃO DO BIM E DO IOT NO SMART
CAMPUS DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA**

São Caetano do Sul

2021

Felipe André Stabile de Oliveira

Luis Felipe Vallilo Sierra

Matheus Bastos Aggio

**GÊMEOS DIGITAIS: A INTEGRAÇÃO DO BIM E DO IOT NO SMART
CAMPUS DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela
Escola de Engenharia Mauá do Centro
Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia
como requisito parcial para a obtenção do título
de Engenheiro(a) Civil.

São Caetano do Sul

2021

Felipe André Stabile de Oliveira, Luis Felipe Vallilo Sierra, Matheus Bastos Aggio

Gêmeos Digitais: a integração do BIM e do IoT no Smart Campus do Instituto Mauá de Tecnologia / Felipe André Stabile de Oliveira, Luis Felipe Vallilo Sierra, Matheus Bastos Aggio — São Caetano do Sul : CEUN-IMT, 2021.

72p.

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil — Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2021. Orientador: Profº Me. Pedro Henrique Cerento de Lyra

1. BIM 2. IoT 3. Gêmeo Digital I. Oliveira, Felipe André Stabile de II. Sierra, Luis Felipe Vallilo III. Aggio, Matheus Bastos IV. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário. Escola de Engenharia Mauá. V. Gêmeos Digitais: a integração do BIM e do IoT no Smart Campus do Instituto Mauá de Tecnologia.

Felipe André Stabile de Oliveira

Luis Felipe Vallilo Sierra

Matheus Bastos Aggio

GÊMEOS DIGITAIS: A INTEGRAÇÃO DO BIM E DO IOT NO SMART CAMPUS DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro(a) Civil.

Banca avaliadora:

Pedro H. Cerento de Lyra, Me.

Orientador

Eng. Fernando de Almeida Martins, Me

Coorientador

Gabriela Sá Leitão de Mello, Me

Convidada

São Caetano do Sul, 02 de dezembro de 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente, ao nosso orientador Prof. Me. Pedro Henrique Cerento de Lyra que nos apresentou o inovador tema Gêmeo Digital ao direcionar a oportunidade de aplicarmos nossa base de formação em BIM junto da infraestrutura de monitoramento dos Smart Campus IMT, coordenado pelo Centro de Pesquisas do IMT.

O desenvolvimento do projeto nos possibilitou conhecer variadas áreas do conhecimento e incentivou a interação com pessoas inteligentes e dedicadas. Gostaríamos de agradecer a estas pessoas que ofertaram parte do seu precioso tempo em prol de um projeto inovador que aprimora o Smart Campus do Instituto Mauá de Tecnologia.

Ao iniciarmos interações com o Centro de Pesquisas gostaríamos de agradecer ao nosso coorientador Me. Fernando de Almeida Martins que junto do Rogério Cassares Pires nos apresentaram o analítico e a infraestrutura do monitoramento do campus do IMT. Ambos sempre estiveram presentes para sanar inúmeras dúvidas durante a evolução do projeto.

Demonstramos plena gratidão a cooperação e dedicação do Engenheiro Gabriel Emidio Lage, corpo técnico do IMT, com sua participação pudemos aprimorar a solução e sermos reconhecidos mundialmente como campeões da categoria “Aplicação de Gêmeo Digital mais criativa” em participação do Autodesk Forge Hackathon 2021, evento internacional, com mais de 40 equipes de mais de 20 países diferentes, com duração de uma semana e presença dos maiores especialistas do mundo com dedicação exclusiva ao projeto.

Reconhecemos e agradecemos o intenso trabalho da Prof.^a Dr.^a Cassia Silveira de Assis em divulgar e instaurar a metodologia BIM no curso de Engenharia Civil do IMT; e do Reitor José Carlos de Souza Jr em aprimorar e difundir a estrutura do Smart Campus IMT.

Gostaríamos de agradecer ao Instituto Mauá de Tecnologia e as todos os professores que fazem parte desse ecossistema rico em conhecimento, parcerias, inovação, que nos deram base e oportunidade de vivermos momentos memoráveis durante nossa formação em Engenharia Civil.

Sinceros agradecimentos as nossas famílias que acompanharam de perto essa trajetória e nos deram apoio, assim como torceram e vibraram pelo nosso sucesso.

RESUMO

O estudo se baseia no desenvolvimento de uma ferramenta de diagnóstico do funcionamento da infraestrutura física dos blocos D e E do Instituto Mauá de Tecnologia com objetivo principal de realizar o processo de integração entre propriedades, a partir de um modelo BIM (Building Information Modeling) e dos dados capturados de infraestruturas físicas através de sensores, IoT. O projeto baseou-se na melhoria do Smart Campus Mauá ao desenvolver uma modelagem 3D dos blocos D e E do IMT para integração, em ambiente nuvem, com dados de presença, temperatura, umidade, movimento e bateria de luz de emergência caracterizando um gêmeo digital. Este termo corresponde ao desenvolvimento de um ambiente digital que representa fielmente um ambiente físico com dados e propriedades de itens e instrumentos. A partir dessa integração foi possível criar ferramentas de auxílio para uma gestão mais assertiva, que analisam os dados em conjunto com as propriedades dos objetos, para o uso eficiente de recursos (água, iluminação, energia) e planejamento de manutenção e uso das salas de aula e laboratórios.

Palavras chaves: BIM. IoT. Gêmeo Digital.

ABSTRACT

The study was based on the development of a diagnostic tool for the functioning of the physical infrastructure of blocks D and E of the Instituto Mauá de Tecnologia with the main objective of carrying out the process of integration between properties, based on a BIM (Building Information Modeling) model, and data captured from physical infrastructure through sensors, IoT. The project was based on the improvement of Smart Campus Mauá by developing a 3D modeling of IMT's D and E blocks for integration, in a cloud environment, with presence, temperature, humidity, motion and emergency light battery data featuring a digital twin. This term corresponds to the development of a digital environment that faithfully represents a physical environment with data and properties of items and instruments. From this integration, it was possible to create aid tools for a more assertive management, which analyze the data together with the properties of the objects, for the efficient use of resources (water, lighting, energy) and maintenance planning and use of the rooms, classroom and laboratories.

Keywords: BIM. IoT. Digital Twin.

FIGURAS

Figura 1 - A evolução do IoT	24
Figura 2 - A Internet em todas as "coisas"	25
Figura 3- Conexões do RFID	28
Figura 4-A evolução do BIM	32
Figura 5 - Os Autores	35
Figura 6 - Etapas BIM	36
Figura 7 - Elementos comuns nas definições de <i>Smart City</i>	40
Figura 8 – Exe.mplo de fluxo com nodes construído em <i>node-RED</i>	48
Figura 9 - Modelagem 3D renderizada.....	49
Figura 10 - MQTT broker reportando as informações ao weblab.maua.br:1883.....	50
Figura 11 - Fluxograma de ingestão e <i>report</i> do Pier9.IoT utilizando Autodesk Forge	51
Figura 12 – Ingestão das informações disponíveis dos sensores.....	51
Figura 13 - Georreferenciamento dos sensores por um arquivo .json.....	52
Figura 14 - Utilização da API de Autenticação do Autodesk Forge	52
Figura 15 - Inserção da chave única do modelo 3D	53
Figura 16 – Criação da Extensão para visualização dos dados obtidos pelos sensores	54
Figura 17 - Inserção do Botão para leitura dos sensores IoT na barra de ferramentas do Autodesk Forge.....	54
Figura 18 - Execução da Aplicação	55
Figura 19 – Fluxo Macro de desenvolvimento do Gêmeo Digital	55
Figura 21 - Projeto 2D blocos D e E em Autodesk Autocad.....	56
Figura 22 - - Modelo 3D dos blocos D e E em Autodesk Revit.....	57
Figura 23 - Janela e tabela de propriedades em Autodesk Revit.....	57

	10
Figura 23 - Upload do modelo na plataforma Autodesk Forge.....	58
Figura 25 - Modelo 3D visualizado no Autodesk Forge Viewer	59
Figura 26 - Fluxo inicial de nodes em ambiente Node-RED	60
Figura 27 - Modelo 3D visualizado no Autodesk Forge Viewer	61
Figura 28 - Modelo 3D visualizado no Autodesk Forge Viewer	Erro! Indicador não definido.
Figura 29 - Modelo 3D com dados visualizado no Autodesk Forge.....	62

TABELAS

Tabela 1 – Características e funcionalidade do IoT	26
Tabela 2-Exemplo de Softwares e suas características que englobam o BIM	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BLE	<i>BlueTooth Low Energy</i>
CAD	<i>Computed-Aided Design</i>
IoT	Internet das Coisas - <i>Internet of Things</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
LoRaWAN	<i>Long Range Low Power Wide Area</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
TIC	Tecnologia da Informação e da Comunicação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO PRINCIPAL	17
2.1.1	OBJETIVO ESPECÍFICO	17
3	JUSTIFICATIVA	18
4	REVISÃO DA LITERATURA	22
4.1	INTERNET DAS COISAS (IOT)	22
4.1.1	INTRODUÇÃO.....	22
4.1.2	CONCEITOS E DEFINIÇÕES	23
4.1.3	CARACTERÍSTICAS E FUNCIONALIDADE	26
4.1.4	COMUNICAÇÃO E CONECTIVIDADE	27
4.1.5	AS REDES E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	30
4.1.6	GERENCIAMENTO E ANÁLISE DE DADOS	31
4.2	MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM).....	31
4.2.1	INTRODUÇÃO.....	31
4.2.2	CONCEITUAÇÃO.....	33
4.2.3	INTEROPERABILIDADE	35
4.2.4	BIM E SUAS DIMENSÕES.....	36
4.3	SMART CITY	38
4.3.1	INTRODUÇÃO.....	38
4.3.2	DEFINIÇÃO	39
4.4	DIMENSÕES.....	40
4.4.2	APLICAÇÃO.....	44
5	SMART CAMPUS	44
6	METODOLOGIA	47
6.1	REVISÕES LITERÁRIAS	47
6.2	DESENVOLVIMENTO.....	47
6.2.1	Infraestrutura de monitoramento	47
6.2.2	Análise da transmissão de dados.....	47
6.3	FLUXO MACRO	48
6.3.1	O Primeiro caminho foi o desenvolvimento de um modelo 3D:.....	48

6.3.2	<i>O Segundo caminho foi o reporte dos dados dos sensores:</i>	50
7	RESULTADOS	56
7.1	CRIAÇÃO DO MODELO 3D.....	56
7.2	TRANSMISSÃO DE DADOS.....	59
7.3	VANTAGENS DA INTEGRAÇÃO.....	63
7.3.1	<i>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</i>	63
7.3.2	<i>VISUALIZAÇÃO 3D</i>	64
7.3.3	<i>BIM 7D – GESTÃO DE ATIVO</i>	64
8	CONCLUSÃO.	65

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o avanço da tecnologia vem ressaltando a importância das organizações e principalmente das pessoas que compõem essas organizações, de se adequarem à evolução de *softwares*, *Smartphones* e da Internet. Este avanço possui uma alta demanda de informações, geradas por ambientes reais e virtuais que rapidamente tem influenciado a sociedade, criando um ambiente em que para se manter “atualizado” será necessário mais do que ser detentor da mais avançada tecnologia ou de possuir grandes quantidades de informações. O que indicará grande diferencial será a adaptação do mundo na construção e mudanças no modo de pensar para a otimização de processos gerenciais e a formação das pessoas (BARACHO; PEREIRA; ALMEIDA, 2017; CAMPESTRINI et al., 2015).

No setor da construção Civil o campo da tecnologia da informação traz mudanças que estão evoluindo para as fases posteriores ao projeto, ou seja, o que antes era visto apenas como construção, hoje envolve toda a vida útil do empreendimento, considerando a fase de obras, como também as fases de manutenção e acompanhamento de desempenho dos edifícios. Isso está profundamente relacionado a processos mais modernos e mais intuitivos. Uma vez passada essa barreira, pode se notar novas oportunidades e novos avanços visto que tecnologias inovadoras trazem vantagens competitivas fáceis de serem identificadas pelos benefícios agregados (BARACHO; PEREIRA; ALMEIDA, 2017; CAMPESTRINI et al., 2015).

Nesse contexto é possível notar que plataformas de monitoramento utilizadas nos ambientes das edificações estão passando por uma evolução de representações. Os dados convencionais como: tabelas numéricas, gráficos, textos simples e visualizações de projetos vinculados a plantas 2d migram para um cenário virtual e em tempo real vinculados a ambientações 3D. Além disso, há possibilidade de sincronismo de sistemas de monitoramento, baseado em sensores. Estes geram quadros enriquecidos com dados que podem ser utilizados em gerenciamentos de todas as fases da vida útil das edificações (ATTAR et al., 2010, 2011; CAMPESTRINI et al., 2015; HAILEMARIAM et al., 2011).

O desenvolvimento de *softwares* como o CAD – (*Computed-Aided Design* ou Desenho Assistido por Computador – método computacional bastante utilizado na concepção de projetos de Engenharia, Arquitetura, entre outras) vem sendo aprimorado com o avanço da tecnologia, que primeiramente era restrita a apenas algumas grandes empresas como General Motors, em formato 2D. Este aprimoramento fornece possibilidade de ambientação 3D, facilitando os estudos e criando oportunidades para este mercado (AMARAL; FILHO, 2010). Esse fato

proporcionou um grande avanço nos desenvolvimentos de *softwares* nesse nicho, servindo de motivação para o surgimento de diversos outros programas e metodologias, como exemplo o BIM (*Building Information Modeling*). A partir desta ocorrência, sistemas fundamentados na tecnologia BIM podem ser considerados uma evolução dos sistemas CAD. De acordo com Penttila (2016), o BIM é uma metodologia com capacidade de gerenciar tanto a base do projeto da construção quanto os dados empregados. Isso se dá em formato digital e em tempo real durante todo o ciclo de vida do empreendimento (COELHO; NOVAES, 2008; PENTTILÄ, 2006).

Observando os domínios de aplicação inerentes ao ambiente das edificações (construções urbanas, estrutura e fundações, infraestrutura e Transportes, Gerência de recursos prediais, Saneamento e Hidráulica e Recursos Hídricos), pode se notar a alta exigência de tomadas de decisões mais assertivas para se sobressair em um mundo mais competitivo e mutável. Nesse contexto identifica-se o potencial de utilizar ferramentas BIM que auxiliam no gerenciamento da demanda elevada de dados para a criação de soluções (BACCARINI, 1996; PAPAMICHAEL, 1999).

O BIM auxilia na melhoria do gerenciamento a partir de ferramentas mais eficientes. Considerando isto, identifica-se o potencial de utilizar a Internet das coisas (*Internet of Things* - que vem se mostrando ser a revolução da Internet ao conectar em tempo real o monitoramento de objetos em rede) para se conectar com o BIM. Essa conexão agrega os objetos e seus atributos em um modelo de informações da construção e de manutenção, para operar em tomadas de decisões que hoje ainda é uma função do ser humano (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). Deste modo a tecnologia serve como uma ferramenta que permite que as informações de gerenciamento possam ser analisadas de forma mais precisa e controladas remotamente por sensores e atuadores (ATTAR et al., 2011; ATZORI; IERA; MORABITO, 2010)

A partir dessa integração, Michael Grieves (GRIEVES, 2015) idealizou um novo conceito, em que o projeto físico e o modelo virtual se conectam por meio da alta tecnologia chamado gêmeos digitais. Essa interconexão se desdobra em criações de cenários automatizados com inteligência nos diversos domínios como: sistemas de instalações elétricas e hidráulicas, medições de ambientes e até cidades.

O objeto de estudo do projeto será no Instituto Mauá de Tecnologia junto ao seu Centro de Pesquisas que desde 1966 atua com objetivo de desenvolver pesquisa aplicada e tecnologia para

solucionar problemas da indústria nas áreas de Edificações e Equipamentos, Eletrônica e Telecomunicações, Análise Sensorial, entre outros. Um dos projetos desenvolvidos pelo Centro de Pesquisas em parceria com o Centro Universitário se chama “*Smart Campus*”. Este projeto é composto por sensores (desenvolvidos pelo próprio Centro de Pesquisas) e antenas que captam e transmitem informações sobre ambientes do campus para controle e monitoramento.

Este trabalho se concentrou na criação de uma modelagem 3D dos blocos D e E do campus e na realização de uma integração dos dados capturados pelos sensores dos respectivos ambientes ao Smart Campus, para assim criar ferramentas futuras para um gerenciamento de dados e um reporte de status para a gestão.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal foi avaliar a integração de informações provenientes de um modelo BIM dos dados capturados pelos sensores. O estudo baseou-se em utilizar essa integração como ferramenta para diagnósticos do funcionamento da infraestrutura física dos edifícios.

2.1.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo específico foi a criação de um ambiente virtual 3D dos laboratórios dos blocos D e E do Instituto Mauá de Tecnologia utilizando as ferramentas BIM, Autodesk Revit e Autodesk Forge, integradas ao Smart Campus para análise de dados, tais como: monitoramento de sistemas e opção de verificação em primeira pessoa nos ambientes padronização de recebimento de dados dos sensores instalados nestes laboratórios. Estes são utilizados na medição de luminosidade, atividade presencial e temperatura para um único terminal.

Por fim, o desenvolvimento de um sistema de dados que auxiliam a gestão assertiva ao analisar dados em conjunto com as propriedades dos objetos, para o uso eficiente de recursos (água, iluminação, energia) e planejamento de manutenção.

3 JUSTIFICATIVA

Para Firjan, 2013 (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro), a ICC (Indústria da Construção Civil) economicamente é um dos setores mais importantes, a capacidade produtiva brasileira está diretamente relacionada ao crescimento do setor.

A Indústria da Construção exerce um papel importante que envolve um conjunto de atividades importantes para a economia contribuindo de maneira significativa para o desenvolvimento econômico e social do país. Economicamente, o setor também influencia os demais setores gerando consumo de bens e serviços. Socialmente, o setor evidencia uma importância ao apresentar uma grande disponibilidade de absorção de mão-de-obra, gerando emprego, renda e tributos (ABIKO e GONÇALVES, 2003).

A Engenharia Civil historicamente, perante as outras Engenharias, larga atrás quando se trata de inovação tecnológica, isso ocorre devido à dificuldade na implantação de novos modelos de trabalho, pois por se tratar de um ciclo fechado, uma decisão pode afetar várias outras.

Do ponto de vista tecnológico, o desenvolvimento de crescimento construtivo se baseia em três processos: tradicional, convencional e o industrializado. O processo tradicional possui fundamento em um modelo artesanal, enquanto o processo convencional se baseia na divisão de trabalho e a mecanização parcial. Já no industrializado, a mecanização é total.

Ao estudar o processo construtivo do Brasil, ainda pode se notar uma combinação de processos convencionais e artesanais a métodos mecanizados de construção, com uma máquina substituindo o homem nas operações mais pesadas (DACOL, 1996). Entretanto, em 2013 entrou em vigor a Norma de Desempenho – NBR 15.575 (ABNT, 2013), publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A norma condiz com a evolução tecnológica adotando modelos de organização e inovação nas empresas que atualmente possuem um desempenho comparável a empresas europeias e americanas possuindo um foco no trabalho dinâmico e moderno. Tal norma institui um nível mínimo de desempenho para os elementos principais da obra, ao longo de sua vida útil. Com isso, é possível afirmar que a norma de desempenho induz a utilização de sistemas construtivos inovadores (CBIC, 2016).

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) no atual cenário pode ser observado uma elevação do custo da mão de obra, ocasionada pela maneira desordenada em que o mercado imobiliário cresceu. Em consequência disso, a busca por tecnologias para

diminuir o contingente de operários em obra e o custo das obras também aumentou (CBIC, 2016). Conforme diversos autores (PRIES; JANSZEN, 1995; BOUGRAIN, 2010; GAMBATESE; HALLOWELL, 2011) destacado pela CBIC (2016) a adoção de inovações destaca-se como uma opção viável para melhoria ao atendimento das demandas da construção civil, apresentando diversas vantagens em seu uso, como por exemplo, a redução de custo de mão de obra, o aumento de produtividade, a redução de custo de produção.

Para VARGAS (1992) a atribuição de inovações tecnológicas contribui para a melhoria nas condições de trabalho, tais como: aumentar o ritmo das construções trabalhando de forma eficiente e utilizando proveitosamente a mão de obra, além de elevar a qualidade do produto e contribuir significativamente para a manutenção posterior do produto. A análise que a CBIC (2016) realizou a respeito dos desafios da indústria da construção civil identificou como principal resultado a necessidade de as empresas construtoras incorporarem inovações tecnológicas ao segmento.

A cada dia o uso de ferramentas computacionais estão cada vez maiores na indústria da Construção Civil. Já podemos notar a presença da tecnologia nos cálculos estruturais, no georreferenciamento, em campos de obra e até mesmo na gestão de projetos pós-obra. Contudo essas iniciativas ainda permanecem tímidas, e a maioria com difusão nos canteiros (PORTUGAL, 2016). Dentre as inovações tecnológicas, algumas inovações estão mais visíveis e mais presentes na maioria dos estudos acadêmicos: utilização de drones para mapeamento e georreferenciamento, o uso de tablets e aplicativos para acompanhamento de projetos e o BIM.

O BIM é um avanço significativo no uso de programas computacionais para desenhos de engenharia. O BIM que significa “modelagem da informação da construção” e é uma realidade que tornou possíveis projetos mais precisos, entregues em menos tempo e com a possibilidade para reduzir os problemas na obra. Dentro da Gestão de obras, ferramentas como *Construct* objetivam o ganho de produtividade no pós-obra por meio do acompanhamento das atividades em tempo real. Especialistas como Portugal (2016) garantem que mesmo em pequenos projetos de construção, a integração e digitalização oferecem grandes benefícios em redução de falhas, aumento de eficiência de produtividade.

Medidas como o número de pessoas, a profusão de equipamentos de construção e a quantidade de trabalho em andamento ao mesmo tempo, os locais dos projetos estão ficando mais densos. Eles agora geram grandes quantidades de dados, a maioria dos quais nem mesmo é capturada,

muito menos medida e processada, e com isto, a Internet das Coisas se mostra importante para o setor.

A Internet das Coisas é uma realidade que permite que sensores e tecnologias sem fio e ativos se tornem “inteligentes” ao conectá-los uns aos outros. Em um canteiro de obras, a Internet das Coisas possibilita que maquinários, equipamentos, materiais, estruturas e até formas de construção “conversem” com uma plataforma de dados central para capturar parâmetros de desempenho. Sensores, dispositivos de comunicação de campo próximo (NFC) e outras tecnologias podem ajudar a monitorar a produtividade e a confiabilidade da equipe e dos ativos. Existem vários usos potenciais:

- monitoramento e reparo de equipamentos: sensores avançados podem permitir o maquinário detectar e comunicar os requisitos de manutenção, enviar alertas automatizados para manutenção preventiva e compilar dados de uso e manutenção.
- gerenciamento de estoque e pedidos: os sistemas conectados podem prever e alertar os gerentes do local quando os estoques estão se esgotando e quando os pedidos precisam ser feitos. A marcação NFC e o rastreamento de materiais também podem apontar sua localização e movimento e ajudar a reconciliar o inventário físico e eletrônico.
- avaliação de qualidade: as “estruturas inteligentes” que usam sensores de vibração para testar a resistência e a confiabilidade de uma estrutura durante o estágio de construção podem detectar deficiências e corrigi-las antecipadamente.
- eficiência energética: sensores que monitoram as condições ambientais e o consumo de combustível de ativos e equipamentos podem promover a eficiência energética no local.
- segurança: bandas vestíveis podem enviar alertas se os motoristas e operadores estiverem adormecendo ou se um veículo ou ativo estiver parado ou não operacional por uma determinada janela de tempo durante o horário do turno.

Além das oportunidades da Internet das Coisas, o maior uso da digitalização no processo de planejamento da construção e no próprio canteiro de obras está permitindo que as empresas capturem dados que o papel não conseguiria. As percepções obtidas por meio da adoção de análises avançadas em projetos de construção podem ajudar a melhorar a eficiência, os prazos e o gerenciamento de riscos.

De acordo com o estudo desenvolvido pela PwC Global (PricewaterhouseCoopers) em 2016, a ausência de cultura digital e de treinamentos específicos foi identificada como o maior desafio enfrentado pelas empresas de engenharia e construção em todo o mundo na implantação dos conceitos da Indústria 4.0. O estudo contou com a participação de executivos de 26 países, e que constataram que os ganhos de eficiência e produtividade ofertados pelas ferramentas tecnológicas sejam efetivados, é necessário que os gestores tracem planos de validação dessas tecnologias com suas equipes e definam claramente os ganhos esperados no processo.

A tecnologia 4.0, atualmente, tornou-se o principal foco de discussões por todo o mundo, buscando alternativas para melhorar o desempenho produtivo e reduzir os custos, utilizando a tecnologia de ponta, como a Internet das Coisas, a computação em nuvem, BIM, *Machine Learning* e *Big Date*. Para isso torna-se cada vez mais importante a utilização de ferramentas computacionais de alta performance.

A mudança no ciclo econômico do país, potencializada pela crise sanitária vivida desde 2020, tornou necessária uma otimização do planejamento de gestão, para gerenciar melhor os recursos aplicados, com isso, integrar os sistemas BIM com o IoT para a gestão de sistemas presentes em um empreendimento, podendo assim, facilitar a tomada de decisões preventivas, mostra-se mais seguro para os gestores, uma vez que a interação analógica humana diminui, diminuem-se também os riscos, tornando-se um processo mais econômico (MCKINSEY, 2016).

Para este trabalho foi estudada a integração do BIM e do IoT como uma solução no gerenciamento de grandes edifícios, como por exemplo: universidades, *shoppings*, hospitais etc. A partir dessa integração foi possível gerar dados para o auxílio de uma gestão mais assertiva, que analisam os dados em conjunto com as propriedades dos objetos, para o uso eficiente de recursos (água, iluminação, energia) e planejamento de manutenção.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 INTERNET DAS COISAS (IOT)

4.1.1 INTRODUÇÃO

Pensar no mundo sem Internet, é um exercício de imaginação difícil. Para os mais novos e que já nasceram e cresceram em um ambiente completamente envolto pela grande rede, pode-se dizer que é improvável. A Internet é responsável por fornecer aos usuários a maior e a mais utilizada fonte de informações do mundo (HERNÁNDEZ-MUÑOZ et al., 2011).

O seu desenvolvimento tem aberto novos caminhos para uma comunicação entre as pessoas como jamais o mundo havia presenciado. GUBBI em 2013 já dizia que em pouco tempo objetos comuns já estariam conectados à rede. A evolução da Internet já é evidente na rotina global ao passo que não só os computadores estão conectados, como também as televisões, aparelhos de som, celulares.

Criou-se então um termo chamado IoT ou *Internet of Things* que carrega uma nova visão para Internet, com uma ideia de que cada vez mais as “coisas” poderão ser desenvolvidas para possuírem habilidades de comunicações umas com as outras. Além disso, proverão e usarão serviços de dados para reagir a determinadas tarefas (DINIZ, 2006; MATTERN; FLOERKEMEIER, 2010). Vale ressaltar que não se trata apenas de uma nova tecnologia, mas de um novo caminho em que a Internet está se desenvolvendo (DINIZ, 2006; FACCIONI, 2019).

Um fator influente para o rápido crescimento de IoT é sua capacidade de reinventar a forma como as pessoas realizam suas tarefas do cotidiano (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). Esse sistema contempla uma completa integração entre soluções de tecnologias e de comunicação, que pode se dizer ser um fruto de diversas contribuições de diferentes áreas do conhecimento entre as quais podem ser citadas a Engenharia, Telecomunicação; a Informática; a Eletrônica e as Ciências Sociais (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010).

Em um contexto da Construção Civil, tema de interesse dos escritores deste trabalho, o progresso da IoT pode impulsionar o desenvolvimento dos edifícios e cidades inteligentes (ISIKDAG; UNDERWOOD, 2010). A tendência é que sistemas integrados reajam de forma autônoma a eventos do mundo real e físicos, tendo capacidade de influenciar ou atuar na

resolução de problemas, otimizando processos de tomadas de decisões na criação de serviços, com ou sem a direta intervenção humana (HARALD SUNDMAEKER, 2010). Tecnologias como a Identificação por Rádio Frequência (RFID) e as redes de sensores tendem a evoluir no sentido de atender a estes novos desafios, no qual sistemas de informação e comunicação estarão invisivelmente operando nos ambientes (GUBBI et al., 2013).

4.1.2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Definir o que é IoT pode parecer uma tarefa ainda mais difícil ao olhar a quantidade de áreas que essa temática pode envolver. É possível encontrar discussões sobre logística, transportes, saúde, cuidado com idosos, qualidade de vida, segurança pública, coleta de dados, segurança de rede entretenimento entre outras (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010; GUO et al., 2013)

O conceito de IoT se iniciou muito antes da grande evolução da Internet. Suas raízes estão relacionadas a tecnologia RFID, criada para a Segunda Guerra Mundial, utilizada como forma de identificar se um avião captado pelo radar é aliado ou inimigo. O avião, ao captar o sinal do radar, deveria refletir o sinal com as suas características (sistema passivo), ou emitir um novo sinal (sistema ativo), e, assim, permitir ao radar compreender se fazia parte, ou não, de um determinado grupo (MINERVA; BIRU; ROTONDI, 2015).

O termo “Internet das Coisas” (IoT) foi criado, em 1999, no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), e empregado pela primeira vez pelos seus fundadores, destacando-se Kevin Ashton em 1999 e David L. Brock em 2001 (SUNDMAEKER et al., 2010).

O centro de estudos foi criado com o intuito de obter etiquetas de RFID com *microchips* de baixo custo e, assim, permitir a expansão rápida desses sistemas. (MINERVA; BIRU; ROTONDI, 2015). O grupo foi responsável por dar importantes contribuições para a padronização da tecnologia RFID. O propósito dos seus estudos era de conectar as etiquetas de RFID, chamadas de “*tags*”, com a *Internet*. Isso mudou profundamente a ideia de estudar outras tecnologias de identificação, consideradas necessárias para basear o desenvolvimento da IoT, cujas aplicações na indústria estavam associadas a automatização, redução de erros e aumento de eficiência (SUNDMAEKER et al., 2010). As “*tags*” são utilizadas em inúmeras aplicações de etiquetas de identificação de caixas, roupas etc. (MINERVA; BIRU; ROTONDI, 2015).

A partir de então, a evolução da IoT se iniciou, com a primeira conferência internacional sobre o tema da Internet das Coisas em Zurich na Suíça, a *First International Conference - IoT 2008*.

destes para fornecer uma melhor comunicação e transmissão das informações, baseada em protocolos de comunicação padrão (VERMESAN et al., 2011).

Figura 2 - A Internet em todas as "coisas"



FONTE: <https://propus.com.br/wp-content/uploads/2016/05/Internet-das-coisas.png>

A interpretação do próprio nome estimula uma ideia ampla do que pode se definir a IoT. O primeiro termo, “Internet”, carrega um significado de uma rede de visão orientada. Já o segundo termo, “coisas”, traz o foco para os objetos genéricos que se conectam à uma estrutura comum. Diferenças entre esse ponto de vista, que é muitas vezes substancial, reflete na escolha pela abordagem sobre a perspectiva da "Internet orientada" ou de "Coisas orientadas", o que dependerá do interesse específico, da finalidade ou da origem de quem busca a definição (ATZORI; IERA; MORABITO, et al. 2010).

Considerando a perspectiva da sua funcionalidade e identidade, a IoT pode ser entendida como “coisas tendo identidades e personalidades virtuais, operando em espaços inteligentes e utilizando interfaces inteligentes para se conectar e se comunicar em contextos sociais, ambientais e do usuário”. Considerando, por outro lado a perspectiva da integração, a IoT pode ser entendida como “objetos interconectados atuando no que pode ser chamado de Internet do Futuro” (INFSO D.4 NETWORKED ENTERPRISE & RFID INFSO G.2 MICRO & NANOSYSTEMS, 2008).

4.1.3 CARACTERÍSTICAS E FUNCIONALIDADE

Para abordar Internet das Coisas, é importante compreender os blocos de construção da IoT para entender o que é a “coisa”, como e por que se conecta à Internet. Assim construindo uma visão do seu significado real e da sua funcionalidade (FACCIONI FILHO, 2016a) (Al-Fuqaha et al. 2015)

O que caracteriza cada objeto, o design para aplicação e processos, são suas funcionalidades e atribuições. Faccioni Filho (2016) distribui essas funcionalidades em 3 conjuntos, sendo eles:

- conjunto das Características – o conjunto das Características é composto das atribuições do próprio objeto.
- conjunto das Relações - o conjunto das Relações refere-se a como o objeto interage com outros objetos em rede.
- conjunto da Interface - o conjunto da Interface refere-se às relações entre o objeto e o usuário.

Para cada conjunto, existem elementos que caracterizam a IoT, vale lembrar que não é necessário que todos os elementos estejam presentes em um objeto para se caracterizar IoT, já que dependerá do uso de cada objeto e das aplicações IoT em que estão inseridos. É mandatória, no entanto, a capacidade de comunicação.

Tabela 1 – Características e funcionalidade do IoT

CONJUNTO	ELEMENTO	DESCRIÇÃO
Características	Identificação	A identificação é crucial para distinguir os objetos conectados em rede através de endereçamentos únicos.
	Processamento	Capacidade de fazê-lo agir e responder às requisições da IoT e suas aplicações
	Endereçamento/Localização	Atributo relacionado com a capacidade do objeto ser localizado na rede ou no local físico.
Relações	Comunicação	Capacidade do objeto de "conversar" com outros objetos na rede IoT. Está relacionada a forma de conexão
	Computação/Cooperação	Capacidade de agir em comum com outras unidades de processamento e capacidade computacional.
	Sensores/Atuadores	Através dos sensores é possível captar dados, enviados para um banco de dados possibilitando monitorar determinadas grandezas do ambiente. No caso dos atuadores, estes podem alterar agir sobre o ambiente, de acordo com os dados coletas
Interface	Serviços	Serviços de Identificação são os mais básicos e importantes porque para trazer objetos do mundo real

		para o mundo virtual é preciso primeiro identificar estes objetos.
		Serviços de Agregação de Informações coletam e resumem as medições brutas dos sensores para que sejam processadas e relatadas às aplicações de IoT.
		Serviços de Colaboração e Inteligência utilizam os Serviços de Agregação de Informações e trabalham com os dados obtidos para tomar decisões e reagir.
		Serviços de Ubiquidade tem como objetivo fornecer Serviços de Colaboração e Inteligência sempre que forem necessários, para qualquer pessoa e em qualquer lugar.
	Interação	Este atributo permite a visualização das informações do objeto para o usuário, realizando configurações e modificando suas condições.
	Semântica	Refere-se à capacidade de extrair conhecimento de forma inteligente dos dispositivos que compõem. Ou seja, com os dados gerados, extraídos de determinado ambiente, é possível utilizá-los da melhor maneira de forma a tornar o ambiente mais eficiente.

FONTE: Adaptado de (FACCIONI FILHO, 2016^a; AL-FUQAHA ET AL. 2015)

4.1.4 COMUNICAÇÃO E CONECTIVIDADE

A ITU (Agência Especial das Nações Unidas para questões relacionadas a tecnologias da informação e comunicação) em 2005 descreveu a integração da rede e da conectividade da IoT como uma “rede ubíqua” que está disponível em todos os lugares e a qualquer tempo. Assim, conforme Minerva, Biru e Rotondi (2015, p. 17), a ITU criou sua definição de Internet das Coisas como a rede “disponível em qualquer lugar, a qualquer momento, por qualquer coisa e por qualquer pessoa.”

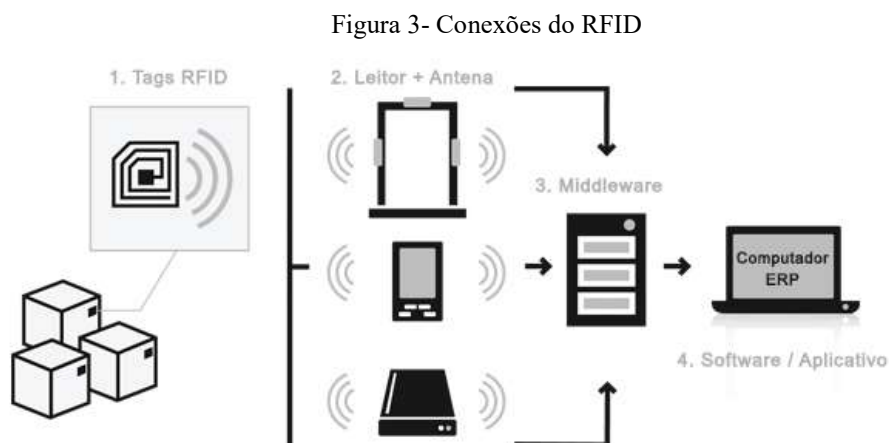
Nessas condições a funcionalidade da IoT que merece destaque é a capacidade de comunicação entre sensores, atuadores e tags de RFID. A integração destes elementos com redes sem fio pode fornecer monitoramento e controle de espaços físicos (INFSO D.4 NETWORKED ENTERPRISE & RFID INFSO G.2 MICRO & NANOSYSTEMS, 2008).

Para possibilitar a existência da IoT, a ITU descreveu as seguintes tecnologias como necessárias:

4.1.4.1 RFID (as coisas com “tags”)

A RFID é uma tecnologia de identificação à distância com o objetivo de conectar objetos comuns e dispositivos por meio de Ids únicos identificados em cada “tag” às redes, em especial, à Internet.

Utiliza-se a palavra “tag” para se referir às etiquetas RFID que estão em embalagens, equipamentos, roupas, aparelhos e muitas outras “coisas. Um sistema estrutural típico do RFID é composto por um leitor; uma tag eletronicamente programada (transponder) e um software de controle (OLIVEIRA; SERRA, 2017; FINKENZELLER, 2010). Com uma tag RFID é possível identificar, de maneira única, cada objeto, pois cada tag pode conter uma mini base de dados. Essas capacidades da tag RFID possibilitam que qualquer “coisa”, objeto, animal ou planta, seja identificado e rastreado, tornando essa “coisa” um nó da Internet. “Essa tecnologia pode ser aplicada em inúmeras áreas para fins de controle de almoxarifado, localização de materiais e pessoas, controle de entrada e saída de produtos, veículos e pessoas, identificação de ferramentas ou animais, entre outros” (OLIVEIRA; SERRA, 2017).



FONTE: www.afixgraf.com.br/como-funciona-rfid/

4.1.4.2 Sensores (as coisas sentem)

Um dos pontos fundamentais da IoT é a parte de sensoriamento. Os sensores são peças essenciais para o conceito de Internet das Coisas. São responsáveis por detectar, medir e coletar dados sobre o ambiente para que estes sejam processados e transmitidos aos usuários conforme as demandas (YICK; MUKHERJEE; GHOSAL, 2008). São eles que coletam as informações

em campo, em ambientes inacessíveis, em sistemas produtivos, na área médica, na análise de distúrbios, na criação animal e outros inimagináveis processos. No contexto de um ambiente construído, por exemplo, os sensores são capazes de monitorar condições como temperatura, níveis de gás, poluentes, umidade, estado das portas e janelas, ocupações em salas e condições de diferentes sistemas (UNDERWOOD; ISIKDAG, 2011).

Aos sensores muitas vezes se acoplam atuadores, de tal forma que em processos especiais pode-se não só coletar dados como também atuar sobre o ambiente, como por exemplo, um sensor de luminosidade que também é capaz de acionar uma lâmpada (YICK; MUKHERJEE; GHOSAL, 2008).

4.1.4.3 Atuadores (exercer o controle das coisas);

Um atuador, muito se conhece por um dispositivo que produz movimento, convertendo energia pneumática, hidráulica ou elétrica, em energia mecânica. No IoT utiliza-se o conceito de que os atuadores exercem o controle das coisas, enviando comandos de ações que podem interagir com o ambiente, como por exemplo: emissão de sons, luz, ondas de rádio e até mesmo cheiros, além dos movimentos (WHITMORE; AGARWAL; XU, 2015).

4.1.4.4 Inteligência (para as coisas pensarem)

Quando se fala em inteligência, se quer dizer que há possibilidade de processamento embutido nas “coisas”, tecnologias que atribuem inteligência às extremidades da IoT.

Nesses sistemas de acordo com FACCIONI FILHO (2016), há três tipos de inteligência nas coisas:

- Passiva: em que o objeto responde a estímulos de maneira direta e sem processar a informação coletada;
- Ativa: em que o objeto, a partir de um controlador remoto, pode decidir o tipo de resposta a partir de um estímulo;
- Autônoma: em que o objeto carrega em si mesmo a capacidade do controlador, bem como sensor e atuador, decidindo, de forma autônoma, suas ações a partir de estímulos vindos da rede ou do ambiente.

4.1.4.5 Nanotecnologia (para miniaturizar as coisas).

Essa definição parte do princípio de que as coisas na IoT devem ser cada vez menores, com menor consumo de energia, maior velocidade de processamento e maior capacidade de memória, e, por isso, influenciam de maneira radical no design de produtos.

4.1.5 AS REDES E SUAS CARACTERÍSTICAS

As redes de comunicação propiciam a conectividade em ambientes IoT. Abaixo estão listadas as redes consideradas importantes e suas características conforme indicado por Al-Fuqaha *et al.* (2015) e Santos *et al.* (2016).

- **Ethernet** – Grande parte das redes locais que utilizam fios possuem este padrão. Está relacionado a simplicidade, facilidade de adaptação, manutenção e custo. Este padrão é sugerido para dispositivos que não necessitam de muita mobilidade, por sua conexão ser via cabo.
- **Wi-Fi** – Esta é uma solução de comunicação sem fio bastante utilizado, fazendo parte do cotidiano de casas, escritórios, indústrias e até praças públicas. Foi desenvolvida como uma alternativa à Ethernet que utiliza o padrão cabeado. Apresenta vantagem no alcance de conexão e mobilidade, tendo a principal desvantagem o maior consumo de energia, quando comparado com outras tecnologias de comunicação sem fio.
- **BlueTooth Low Energy (BLE)** – Bluetooth é um protocolo de comunicação sem fio que primariamente foi projetado para baixo consumo de energia. Proposto pela Ericsson e mantido atualmente pela Bluetooth Special Interest Group o BLE é uma versão mais recente que possui especificações voltada para economizar energia, permitindo que os dispositivos utilizem fontes de energias com um tamanho reduzido.
- **4G/5G** – Padrão de telefonia celular que pode ser utilizado em projetos que precisam alcançar grandes distâncias. A rede 5G (evolução da rede 4G) vem sendo desenvolvida para comportar o crescente volume de informações trocadas diariamente por bilhões de dispositivos sem fio espalhados pelo mundo. O seu consumo energético é elevado em relação a outras tecnologias.
- **LoRaWan** – Da sigla LoRa que vem da tradução de *Long Range* (Traduzido: Longa Distância) é um padrão de redes para longas distancias, numa escala regional, nacional ou global. O seu consumo de energia se comparado com outros padrões é relativamente pequeno, o que permite que os dispositivos se mantenham ativos por longos períodos.

- **SigFox** – Projetada para lidar com baixas taxas de transferência de dados. É uma tecnologia recente que atua como uma operadora para IoT e que oferece suporte a uma série de dispositivos. O fato de trabalhar com pequenas taxas de transferência permite que o padrão tenha baixo consumo energético.

4.1.6 GERENCIAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Como visto anteriormente uma das principais características do IoT, a partir da grande quantidade de dados coletados pelos seus sensores, é a capacidade de proporcionar conhecimento sobre o mundo físico. De acordo com Barnaghi et al. 2012 a *raison d'être* (razão de ser) da IoT, é justamente, a extração de conhecimento a partir de dados coletados pelos seus sensores.

Por meio destes dados, é possível identificar padrões comportamentais de ambientes ou usuários e realizar interferência para que melhore seu desempenho. Por exemplo, em um ambiente onde há a presença de sensores com capacidade de interpretar fenômenos naturais é possível, com base em um histórico de dados, antecipar informações meteorológicas e com isso tomar decisões mais assertivas embasadas nessas informações. Trazendo maior qualidade na resolução de problemas para os usuários (SANTOS, 2016 et. al).

Tomando como exemplo o cenário de *Smart Grids* (redes inteligentes), uma aplicação de IoT pode auxiliar no controle do consumo de energia de ambientes. Por meio da IoT, as fornecedoras de energia podem controlar os recursos, proporcionalmente ao consumo, evitando possíveis falhas na rede elétrica. Isso acontece por meio das diversas leituras que são coletadas por objetos inteligentes e são analisadas para prevenção e recuperação de falhas, aumentando a eficiência e qualidade dos serviços (YAN et al. 2013).

4.2 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)

4.2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

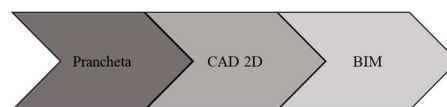
A Engenharia Civil é uma das formações mais antigas do mundo, afinal a própria história da evolução humana se confunde com a história da construção, sejam nos templos gregos, nos arcos do coliseu romano ou na muralha chinesa, o homem sempre foi aficionado em desafiar os limites da gravidade e deixar um marco para eternidade.

Neste capítulo procurou-se abordar de forma sucinta a integração da tecnologia dentro da Engenharia Civil e como isso se reflete na dinâmica de concepção do projeto, no seu desenvolvimento, na sua entrega e na sua manutenção, de forma simultânea.

O BIM é uma tecnologia que se baseia no modelo de banco de dados e que permite o desenvolvimento e a utilização de informações do projeto. O surgimento do BIM ocorreu a partir da necessidade de se reduzir a fragmentação da indústria da AECO e fortalecer a integração entre as diferentes disciplinas, no sentido de aumentar a eficiência do setor e reduzir a perda de informações referentes ao edifício ao longo do seu ciclo de vida, o que consequentemente impacta na redução de custos (ANDRADE; RUSCHEL, 2011).

Para entender a representatividade do BIM é necessário antes, uma menção a história de surgimento das ferramentas computacionais utilizadas na Engenharia Civil, ilustradas conforme figura abaixo:

Figura 4-A evolução do BIM



Fonte - Os autores

Eastman. (2014) mostra informações armazenadas por uma construtora localizada em Quebec no Canadá, citada por Hendrikson (2003), em que um projeto avaliado em US\$10MM, sem o auxílio de tecnologia possui:

- 56.000 páginas de documentos gerados, sendo 50 tipos diferentes.

Isso corresponde cerca de 3GB de informação que poderia facilmente ser armazenada em nuvem, a um custo muito menor.

Dias (2010) conta que em 1981 com o lançamento do primeiro *Personal Computer* (PC) a empresa AutoDesk, fundada em 1982, lançou em novembro do mesmo ano o primeiro programa CAD para PCs. Surgiram também nesta década os microcomputadores com sistema operacional UNIX e então todos os softwares CAD lançados tinham sua compatibilidade

destinada ao sistema. Apenas na década de 90, com o lançamento do Windows NT, softwares CAD migraram para o novo sistema operacional, que tinha um custo menor do que seu antecessor, ou seja, era mais acessível a Construção Civil.

Tzorzopoulos e Formoso (2001) reforçam a afirmação do uso do computador como prancheta eletrônica. Como evidência os softwares CADs se tornaram mundialmente conhecidos na aplicação do desenho com referenciamento 2D nas áreas das Engenharias Mecânica, Elétrica ou Civil.

Apesar da aplicação desta tecnologia, o método construtivo segue fragmentado. Parsanezhad (2015) afirma em tradução livre: “O método de construção tradicional (desenho 2D) é uma das técnicas de construção mais complexas sem uma plataforma de troca de dados padronizada, o que é uma das principais causas de atrasos em projetos, estouro de custos e onerosas horas de trabalho”. Ou seja, mesmo com a economia de espaço e mão de obra desenhando em ferramentas computacionais, ainda continua longe de ter a visão completa do projeto.

4.2.2 CONCEITUAÇÃO

Comparar a forma construtiva das décadas anteriores ao início de 90 é saber o quão difícil era gerir um projeto, centenas de plantas desenhadas a mão, em papel, sem auxílio tecnológico, significava correr riscos de erros humanos cascadeados e com a possibilidade de serem perceptíveis somente durante ou após a obra, trazendo um custo adicional.

Para entender o que significa o BIM é necessário voltar para a primeira descrição de Jerry Laiserin (EASTMAN et al., 2008), publicada em um artigo no ano de 1975 pelo Professor Charles M. “Chuck” Eastman, considerado o pai do BIM, adotando ainda uma terminologia chamada de “*Building Description System*”, explica:

[Projetado por] “...definir elementos de forma interativa... deriva[ndo] seções, planos isométricos ou perspectivas de uma mesma descrição de elementos... Qualquer mudança no arranjo teria que ser feita apenas uma vez para todos os desenhos futuros. Todos os desenhos derivados da mesma disposição de elementos seriam automaticamente consistentes... qualquer tipo de análise quantitativa poderia ser ligado diretamente à descrição... estimativas de custos ou quantidades de material poderiam ser facilmente geradas... fornecendo um único banco de dados integrado para análises visuais e quantitativas... verificação de código de edificações automatizado na prefeitura ou no escritório do arquiteto. Empreiteiros de grandes projetos podem achar esta representação vantajosa para a programação e para os pedidos de materiais.” (EASTMAN, 1975).

O estudo mostra que há pelo menos 45 anos, já se via necessário centralizar os processos construtivos e ter interoperabilidade entre sistemas. Por exemplo, uma mudança na arquitetura refletiria no dimensionamento hidráulico sem a necessidade de refazer plantas, resultando em eficiência financeira e atratividade para grandes empresas, parte desta ideia define o que chamamos de BIM.

Mas a primeira definição de Building Modeling documentada, citada por Jerry Laiserin (EASTMAN et al., 2008), foi a de Robert Aish em 1986 onde explicava a tecnologia para implementá-lo, incluindo modelagem 3D, extração de desenho automático, componentes inteligentes paramétricos, bancos de dados relacionais, faseamento temporal dos processos de construção e assim por diante (AISH, 1986 apud EASTMAN et al., 2008).

Uma diferença importante do BIM é a possibilidade de os usuários definirem estruturas muito mais complexas de famílias e objetos e relações entre eles do que é possível com o CAD 3D, sem recorrer a desenvolvimento em nível de programação de software. (EASTMAN et al., 2014)

Segundo Crespo e Ruschel (2007) o BIM pode ser definido como um modelo digital composto por um banco de dados que permite agregar informações para diversas finalidades, além de aumento de produtividade e racionalização do processo.

Com o BIM é possível vencer as etapas de concepção de projetos focando em um modelo tridimensional parametrizado, que pode inclusive detectar interferências sem que os projetistas estejam trabalhando no mesmo espaço físico. (EASTMAN et al., 2014)

No cotidiano da Engenharia Civil, com o avanço das tecnologias computacionais, foram desenvolvidos diversos softwares BIM, tanto para auxiliar nas fases construtivas de um projeto quanto para precaver possíveis imprevistos durante a vida útil do empreendimento. Alguns deles estão listados abaixo:

Tabela 2-Exemplo de Softwares e suas características que englobam o BIM

Característica	Software	Empresa
Projeto Arquitetônico	Revit Architecture	Autodesk
	ArchiCAD	Graphisoft
	VectorWorks	Nemetscheck
	Bentley Architecture	Bentley
Projeto Estrutural	EBERICK	AltoQi
	TQS	TQS
Projeto de Instalações	QiBuilder	AltoQi
Análise e Compatibilização	NavisWorks	Autodesk
	Synchro	Synchro
	SOLIBRI	Nemetscheck
	Tekla BIMsight	Trimble
Colaboração BCF	BIMcollab	KUBUS

Figura 5 - Os Autores

Nota-se que junto a diversidade de novos programas, as extensões dos arquivos são distintas, então mesmo que se decida utilizar o BIM nas diferentes fases construtivas do projeto, ainda seriam todas apartadas, contrariando o conceito de fácil manutenção e adaptabilidade esperadas.

4.2.3 INTEROPERABILIDADE

Eastman (2011) diz que a interoperabilidade representa a necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que vários colaboradores contribuam de forma simultânea para o trabalho em questão, de modo que cada especialista cuide da sua área de atuação apartadamente, mas que o resultado seja visto em modo conjunto.

Para solucionar o problema dos múltiplos formatos, houve um esforço mundial entre indústrias. A partir da década de 1980, segundo *Eastman* (2011), foram desenvolvidos modelos de dados para dar suporte as trocas de informação entre modelos de produtos e objetos, dentro de diferentes setores, utilizando a padronização ISO e uma linguagem em comum chamada de EXPRESS. Deste esforço surgiu o modelo de dados, Industry Foundation Classes (IFC), amplamente utilizado em fases de planejamento, projeto, construção e gerenciamento de edificações (EASTMAN *et al.*, 2011).

De acordo com Andrade (2009) os primeiros esforços ligados diretamente ao IFC surgiram entre as principais organizações americanas ligadas a indústria da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), através da Industry Alliance for Interoperability, em 1994, onde foi rapidamente expandida para a International Alliance for Interoperability (IAI). Esta última, um

consórcio entre empresas e instituições de pesquisas, hoje presente em cerca de 20 países. (International Alliance for Interoperability, 2008a). O IFC foi projetado pensando em atender a todas as informações do edifício, durante todo o ciclo de vida da edificação. (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

4.2.4 BIM E SUAS DIMENSÕES

O BIM não se limitou somente há um sistema de modelagem 3D, desenvolveram-se métodos para parametrização de componentes em níveis de detalhamento variado. Segundo Bomfim (2016), essa parametrização é capaz de transformar um sistema produtivo de 2D para 3D, 4D, 5D, 6D e 7D a depender do nível de informações que o projetista forneça ao modelo em produção.

Cada dimensão corresponde a uma fase de projeto conforme figura mostrada abaixo:

Figura 5 - Etapas BIM



FONTE: Disponível em: <https://hashtagbim.wordpress.com/2015/10/12/bim-do-3d-ao-7d/>

A modelagem BIM 4D é definida como a integração de modelos 3D com a dimensão temporal (WANG et al., 2014). Segundo Silva; Crippa; Scheer (2019) o modelo 4D tornasse mais assertivo e tais melhorias são possíveis devido à conexão das dimensões espaciais com a temporal promovidas pela visualização em modelos 3D e simulação de sequência de atividades da obra, que induzem a confiabilidade dos cronogramas e a melhoria da gestão da comunicação.

Para um maior detalhamento sobre o 4D os autores recomendam a leitura do artigo “BIM 4D no Planejamento de Obras: Detalhamento, Benefícios e Dificuldades”.

A principal vantagem da modelação 5D (concilia modelagem, tempo e custo) para os construtores é o aumento da precisão durante a construção, com menos desperdício de tempo, de materiais e de redução de alterações durante a execução das obras. (AZEVEDO, 2009). Ou seja, os modelos 5D só são possíveis em projetos que adotarem o 4D pois a administração do custo leva em consideração a variável temporal.

De acordo com Pestana (2019), o BIM 6D tem ligação direta com o meio ambiente e nele estão presentes aspectos de sustentabilidade e de impacto energético na construção, de uma forma mais específica, em BIM 6D são feitas as análises de eficiência energética, de consumo energético, emissão de carbono, para tornar o processo construtivo mais sustentável.

Pestana (2019) ainda diz que a partir do 6D é possível a criação de cenários de comportamentos térmicos e energéticos, ainda na fase de planejamento, ou seja, quanto maior o nível de detalhamento do projeto BIM mais fácil a previsibilidade do cenário, tornando as tomadas de decisões mais rápidas, o que ajuda no custo de obra.

A sétima dimensão de BIM, BIM7D, trata da gestão de operações de um edifício permitindo que os seus utilizadores, gestores de operações, façam uma gestão mais eficaz das mesmas e dos planos de manutenção durante o ciclo de vida do edifício, conseguindo um aumento de eficiência e paralelamente um aumento de vida útil do ativo. (PESTANA, 2019). Este tópico será tratado pelos autores em metodologia, com a integração BIM/IoT.

O BIM, junto de suas Dimensões, ganha apoio governamental na esfera nacional a partir do Decreto Nº 10.306, de 2 de abril de 2020.

“Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling- Estratégia” (BRASIL, 2020)

Este decreto visa implantar o BIM de maneira gradual e faseada em projetos da esfera pública, sendo divididos nas etapas:

- primeira fase - a partir de 1º de janeiro de 2021, adoção de técnicas e ferramentas BIM para planejamento de projetos de arquitetura e engenharia.

- segunda fase - a partir de 1º de janeiro de 2024, BIM utilizado na execução direta e indireta e na gestão de orçamentos seguindo a linha do BIM 5D.
- terceira fase: a partir de 1º de janeiro de 2028, gerenciamento e a manutenção do empreendimento após a sua construção seguindo a linha do BIM 7D.

Estes são processos longos e faseados que a partir do incentivo público buscam amadurecer o conceito de BIM e difundir seu uso na gestão dos processos construtivos e de planejamento da Construção Civil no Brasil.

4.3 SMART CITY

4.3.1 INTRODUÇÃO

A Urbanização é um complexo processo socioeconômico que transforma o ambiente de construção junto da distribuição da população do espaço rural para regiões urbanas. Este movimento causa mudanças de estilo de vida, cultura, comportamentos sociais junto da nova estrutura demográfica e social distinta entre estes dois ambientes (UNITED NATIONS, 2018).

Cidades populosas e com alta densidade populacional podem ser mais produtivas e inovadoras (HARRISON, DONNELLY, 2011), isso exige por parte dos gestores, esforços para planejar sistemas cada vez mais complexos que acompanhem o crescimento da população, englobando o abastecimento de alimentos, a eliminação de resíduos, o tráfego urbano, a manutenção e melhoria da qualidade de vida dos cidadãos (CARAGLIU et al, 2009).

Uma das problemáticas da urbanização é o crescimento exponencial e desigual da sociedade. Estes dificultam o planejamento sustentável das estruturas urbanas, ocasionando desigualdade, adensamento populacional, dificuldade de planejar o desenvolvimento de infraestrutura, saneamento, distribuição de água e o acesso aos serviços básicos de saúde e para manutenção da vida (UN, 2014a, 2014b). A partir destes pontos, compreende-se que crescimento é diferente de desenvolvimento, visto que pode se ter crescimento e este não estar ligado ao desenvolvimento social e ambiental daquele determinado espaço ou melhorias na percepção da qualidade de vida da população (CABRAL, L. N., & CÂNDIDO, G. A, 2019).

Projeções publicadas pela Organização das Nações Unidas (ONU), no relatório sobre Fatos da População Global, indicam que “o futuro da população global é se tornar urbana” (UNITED NATIONS, 2018). Isto se confirma no relatório *World Urbanization Prospects 2018 Highlights*, também publicado pela ONU, que demonstra o rápido crescimento da urbanização global nas últimas décadas: até o ano de 1950, apenas 30% da população era urbana, em 2018 este valor já era de 55% e é previsto que alcance 68% até 2050 (UNITED NATIONS, 2018).

Dado o crescimento urbano de forma acelerada junto do avanço tecnológico, surgiu no final da década de 1990 a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), esta seria, portanto, a viabilizadora de um modelo capaz de implementar maior inteligência nas cidades (STORPER, 1997). Neste contexto, com a necessidade de apresentar novas abordagens para assegurar a viabilidade futura e prosperidade das áreas urbanas, surgiram as soluções baseadas em novas tecnologias (NEIROTTI et al, 2014), tais quais as Cidades Digitais.

As Cidades Digitais nasceram a partir de computadores e Internet integrados ao espaço urbano, seguindo a motivação de uma gestão eficiente das infraestruturas e serviços urbanos que contemplem os interesses e as demandas sociais. Estas são caracterizadas pela capacidade de implementação de tecnologias de comunicação, promovendo o acesso amplo a ferramentas, conteúdos e sistemas de gestão, de forma a atender às necessidades do poder público e seus servidores, dos cidadãos e das organizações (KOMNINOS; YOVANOF, 2002; YOVAN; HAZAPIS, 2009). Para Cocchia (2014), as cidades digitais exploram o uso da TIC como forma de melhorar a qualidade dos serviços e das informações providas aos cidadãos.

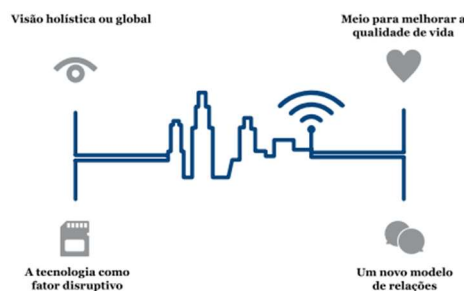
A motivação em mitigar e remediar problemas urbanos, aliada ao desenvolvimento de novas ferramentas tecnológicas, Big Data (redes de dados em nuvem) e a Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), renomeou para Cidades Inteligente o que até 1990 era conhecido como Cidades Digitais. Batty et al. (2012), ao comparar Cidades Inteligentes com Digitais, interpreta estas como ligadas a ferramentas e infraestrutura física, ao passo que aquelas se tratam da forma como estes recursos são utilizados. Dameri (2013) complementa dizendo que o termo “Inteligente”, neste contexto, qualifica uma cidade que consome, produz e distribui muita informação em tempo real e principalmente de maneira ecológica.

4.3.2 DEFINIÇÃO

O conceito de Cidade Inteligente (Smart City, em inglês) é novo e amplo, ao passo que envolve diversas tecnologias para criar cidades mais interconectadas e instrumentalizadas (HARRISON

& DONNELLY, 2011). Estas ferramentas, aliadas ao uso das TICs (tecnologias da informação e comunicação) proporcionam um avançado meio de gestão eficiente das infraestruturas e serviços urbanos: uso sustentável dos recursos materiais, humanos e técnicos, além de democratizar o acesso à informação e transparência de dados. Giffinger e Gudrun (2010), ao definir Cidade Inteligente, direciona para uma visão de universalidade do conceito ao destacar a aplicação escalável em diversos contextos sociais: “São aquelas que bem realizam a visão de futuro em várias vertentes – economia, pessoas, governança, mobilidade, meio ambiente e qualidade de vida – e são construídas sobre a combinação inteligente de atitudes decisivas, independentes e conscientes dos atores que nelas atuam”. Dutta (2011), por sua vez, define o conceito ao valorizar sua gestão e uso de dados ao passo que sucede as cidades digitais (instrumentais e técnicas): “São aquelas que têm foco em um modelo particularizado, com visão moderna do desenvolvimento urbano e que reconhecem a crescente importância das tecnologias da informação e comunicação no direcionamento da competitividade econômica, sustentabilidade ambiental e qualidade de vida geral; esse conceito vai além dos aspectos puramente técnicos que caracterizam as cidades como cidades digitais.”

Figura 6 - Elementos comuns nas definições de *Smart City*.



FONTE: Cunha, 2016

4.4 DIMENSÕES

Dado a inserção da dimensão digital, composta por dados, IoT e TICs (BROWN, 2014), ao contexto urbano, físico e social das cidades, há o aumento da eficiência da infraestrutura e serviços urbanos (COCCHIA, 2014). Para compreender as implicações desta integração, necessita-se de uma análise detalhada dos diversos aspectos estruturais das cidades.

Rudolf Giffinger ao compor o “*Smart cities – Ranking of European medium-sized cities 2007*”, tradução livre para português como “Cidades Inteligentes – Ranking das cidades europeias de médio porte 2007”, propõe um Ranking que classifique as cidades para que os dados embasem: decisões de líderes políticos, estudos de realocação de executivos de companhias, análises de

custo de vida, oportunidades de crescimento individual entre outros fatores, a exemplo de sustentabilidade ambiental. Como base de comparação são propostas seis dimensões de análise: População, Economia, Governança, Meio ambiente, Vida e Mobilidade.

Uma cidade inteligente é aquela com boa performance ao olhar para o futuro equilibrando, de maneira inteligente, essas seis dimensões:

4.4.1.1 Economia Inteligente

Avalia o desenvolvimento econômico das cidades conforme:

- **espírito inovador** ao relacionar os números de: gasto em P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) em relação percentual do PIB (Produto Interno Bruto); taxas de emprego de mão de obra qualificada; número de patentes registradas em relação ao número de habitantes;
- **incentivo ao empreendedorismo** ao levantar o número de trabalhadores autônomos e surgimento de novas empresas, além da criação de ecossistemas empresariais que por meio da interconexão global de conhecimentos viabilize negócios digitais.
- **produtividade financeira** ao mensurar os valores de PIB per capita
- **flexibilidade do mercado de trabalho** ao levantar os números de desempregados e trabalhadores com jornada de meio período
- **abertura ao turismo** ao avaliar medidas públicas quanto ao desenvolvimento da prestação de serviços de informação turística, gerenciamento de reservas online, divulgação de pontos atrativos etc.

4.4.1.2 População Inteligente

Avalia a capacitação intelectual da população das cidades conforme:

- **nível de qualificação profissional** ao mensurar o nível de instrução da população, domínio de idiomas estrangeiros, importância como centro de conhecimento, uso de ferramentas digitais por meio de tablets e computadores no ensino educacional público, além de ofertas de cursos online.
- **participação na vida pública** ao avaliar o número de participantes em serviços voluntários além de mesários nas eleições.

- **cosmopolitismo/receptividade** ao mensurar o comparecimento da população às urnas para as eleições, além do ambiente amigável com imigrantes
- **pluralidade social e étnica** ao avaliar o número de estrangeiros assim como nacionais nascidos no exterior.

4.4.1.3 Governança Inteligente

Avalia o interesse e motivação governamental das cidades conforme:

- **transparência governamental** que mede índice de satisfação com a transparência das burocracias sociais e implementação de medidas contra a corrupção.
- **serviços públicos e sociais** que avalia a parcela de crianças nas creches além da satisfação com a qualidade do ensino nas escolas
- **participação na tomada de decisão** ao mensurar a importância da política para os habitantes, assim como a parcela de mulheres representantes na política.

4.4.1.4 Mobilidade Inteligente

Avalia a mobilidade nas cidades conforme:

- **acessibilidade local** ao mensurar a rede de transporte público por cidadão, assim como o grau de satisfação com a qualidade e acesso do transporte público, além da integração entre os múltiplos serviços de transportes (ônibus, bondes, trens, metrô, bicicletas) que priorizem opções limpas e não motorizadas. Além da disponibilidade de infraestrutura urbana que viabilize a locomoção, tais quais: estacionamentos, recarga de carros elétricos, bicicletários etc.
- **disponibilidade de infraestrutura TIC** ao mensurar o acesso a computadores e à rede Internet banda larga nas residências, a fim de orientar de forma mais eficiente os cidadãos quanto aos meios de locomoção e diminuir o tempo entre conexões e transporte.
- **sistemas de transportes seguros/sustentabilidade/ inovação** ao mensurar índices de acidentes automobilísticos, uso de carros com baixa emissão de dióxido de carbono, uso de veículos compartilhados, baixa pegada de carbono.

4.4.1.5 Meio Ambiente Inteligente

Avalia o meio ambiente das cidades conforme:

- **infraestrutura pública de serviços** ao avaliar redes inteligentes de gestão (Smart Grids), planos de renovação de edifícios e manutenção de equipamentos urbanos.
- **atratividade das condições naturais** ao mensurar horas de iluminação solar e áreas verdes, disponibilidade de energias renováveis aliadas ao gerenciamento eficiente de consumo de energia e água.
- **poluição** ao mensurar doenças respiratórias crônicas fatais por habitante e índices de material particulado em suspensão no ar, gestão de resíduos sólidos urbanos, gestão integral do ciclo da água.
- **preservação ambiental** ao mensurar o senso crítico e esforços individuais dos cidadãos ao proteger a natureza,

4.4.1.6 Vida Inteligente

Avalia a vida nas cidades conforme:

- **instalações culturais** ao medir os números de visitas a museus, teatros e cinemas.
 - **condições de Saúde** ao mensurar expectativa de vida, número de médicos e leitos em hospitais por habitante, serviços de prevenção a doenças, assistência a idosos, uso de tecnologia para aumentar a eficiência das triagens no atendimento em hospitais, tele assistência de saúde, além da satisfação com o sistema de saúde.
 - **segurança pública** ao analisar índices de criminalidade, número de mortes por assalto, satisfação com a segurança pública, cibersegurança aliada a serviços de vídeo vigilância para monitoramento e proteção da infraestrutura pública.
 - **qualidade de moradia** ao analisar número de residências com mínima metragem padrão de conforto e satisfação com o padrão de moradia.
- instalações educacionais** ao medir o número de estudantes por habitante, satisfação com acesso e qualidade ao sistema educacional.

4.4.2 APLICAÇÃO

A Amsterdam Smart City (ASC) é plataforma de inovação criada em parceria com o Conselho Econômico de Amsterdam que visa desenvolvimento da política urbana ao unir forças das instituições de ensino, empresas e governos. Segundo a filosofia do *Open data* (dados que podem ser livremente usados, reutilizados e redistribuídos por qualquer pessoa) foram nomeados chefes de tecnologia e informação para que estruturassem o uso dos dados para desenvolver acessibilidade, interoperabilidade e transparência de dados. Estes são destinados a alimentar a plataforma que teve amplo crescimento e impacta uma comunidade com 400 organizações, mais de 5000 indivíduos, além de diversas startups que se conectam para desenvolver ferramentas para uma cidade preparada para o futuro.

A cidade se encontra em um estágio avançado de desenvolvimento tecnológico, classificando-se como *Smart City 3.0*. Isso simboliza que em uma escala de desenvolvimento esta já superou objetivos de criação de infraestruturas tecnológicas (que conectam computadores, sensores e pessoas) e desenvolvimento de ferramentas com foco em política urbana. O atual estágio de desenvolvimento foca em maior iniciativa dos cidadãos, instituições de ensino e governos para uso das TICs a fim de tornar a infraestrutura urbana mais otimizada a rotina urbana a ponto de garantir o bem-estar social.

Amsterdam consta com um excelente sistema público de transportes que faz amplo uso das TICs (tecnologias da informação e comunicação) para informar os cidadãos e otimizar as conexões entre os serviços, além de contar com um sistema de cartão com chip, único no mundo, que viabiliza o acesso a todas as formas de transporte público. Um dos projetos se chama *Open Data for Transport and Mobility*, tradução literal para português como Dados abertos para transporte e mobilidade, conta com o compartilhamento aos cidadãos de todos os dados de trânsito e transporte público da cidade e foi reconhecido com premiação *Green Digital City Award* no ano de 2012 durante a *Smart City Expo* em Barcelona (SMART CITY HUB, 2021).

4.4 SMART CAMPUS

Os *campus* universitários são ambientes acadêmicos que fazem parte da rotina de docentes e alunos, sendo utilizados para estudo, trabalho e pesquisas. Dada a integração da estrutura de serviços, redes de comunicação, transporte e edificações, os *campi* podem ser comparados a

pequenas cidades, dado a sua infraestrutura desenvolvida para gerenciamento da rotina acadêmica. (BENEDITOBORDONAU, 2013).

Por meio do uso de Tecnologia da Informação e da Comunicação (TIC) as cidades estão se tornando inteligentes (*Smart Cities*) com a motivação de melhorar a eficiência dos serviços prestados à sociedade, assim como, solucionar problemas recorrentes do cotidiano: manutenções inesperadas, congestionamentos urbanos, enchentes etc.

O desenvolvimento analítico das cidades é consequência da automação de mecanismos do serviço público, pois a coleta, a análise e interpretação dos dados obtidos por esse aparato permitem o planejamento do desenvolvimento da cidade junto da melhoria da eficiência do bem-estar social e precisa destinação dos investimentos (BATTY et al. 2012).

Com a evolução das cidades inteligentes, deu-se notoriedade ao desenvolvimento dos *campi* inteligentes (*Smart Campus*), pois estes são componentes importantes das *Smart Cities* (KWOK, 2015).

O *Smart Campus*, por meio de *IoT* e integração de dados, conciliou pilares importantes para a gestão da informação e sustentabilidade do uso de energia. O uso da tecnologia da informação e da comunicação (TIC) permite o desenvolvimento da conectividade no *campus* de São Caetano do Sul-SP, integrando a comunidade acadêmica e a tecnologia por meio de infraestrutura de comunicação equipado com: sensores, antenas, *dashboards* e servidores de visualização de dados. O uso sustentável de energia deu-se pela otimização da eficiência energética aplicada na rotina das edificações, assim como estudo e planejamentos dos materiais utilizados na sua construção.

O *Smart Campus* Mauá é um projeto do Centro de Pesquisas junto ao CEUN localizado no *campus* de São Caetano do Sul que busca:

- inclusão e reconhecimento do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) no meio acadêmico como conhecedor em *IoT* e criação de *Smart Campus*, com aplicações reais e práticas, criando um *show room* tecnológico que demonstra aplicabilidade e potencial para a resolução de problemas reais, tanto para a indústria quanto para a sociedade;
- estudo e implementação de trabalhos com foco em integração de dados e análises de Big Data;

- desenvolvimento de estrutura, equipamentos, software e logística para implementação de propostas para questões públicas e privadas em assuntos relacionados a sensoriamento, *Big Data*, *Smart Cities* e Fábricas Inteligentes;
- inserção de alunos e professores no mundo da Internet das Coisas, por meio de atividades práticas; apoio a trabalhos de graduação em IoT com criação de ambiente para o desenvolvimento de novos trabalhos (SMART CAMPUS MAUA, 2021).

“O Campus conta com um sistema de sensores e antenas, localizados nos edifícios e salas de estudo, que transmitem os dados via rádio, baseado no protocolo LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*). Tal protocolo foi escolhido pensando justamente em IoT, onde o baixo consumo energético e transmissões a longas distancias são primordiais para os dispositivos operados a pilhas ou baterias em regiões remotas, de acesso complicado ou simplesmente onde se quer boa autonomia.

Cada sensor envia seus dados criptografados, de tempos em tempos, para uma antena inteligente (*Gateway*), que controla os modos de transmissão de cada sensor, otimizando o baixo consumo e uma recepção de sinal adequada. Esta antena inteligente envia os pacotes de dados para uma central de dados (*Network Server*), desenvolvida pela própria Mauá, que armazena as informações em um banco de dados na nuvem. Os dados, em *JSON*, podem ser facilmente integrados a uma aplicação em *smartphone* ou navegador fazendo uso do *MQTT broker* ou pela *API REST*, tanto para receber os dados dos sensores quanto para enviar pequenos comandos”(SMART CAMPUS MAUA, 2021).

Uma rede LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) é frequentemente utilizada em *IoT* (*Internet of Things*, ou Internet das coisas) quando há necessidade de enviar poucos dados, em distâncias relativamente grandes (maiores que 1 km), objetivando uma maior vida útil para as baterias que alimentam os sensores remotos. O *campus* conta com uma estrutura funcional *LoRaWAN* (*Long Range Low Power Wide Area Network*) com *gateway*, antena, *network server* e uma plataforma desenvolvida para captura e armazenamento dos dados, propiciando o rápido desenvolvimento de soluções e aplicações” (SMART CAMPUS MAUA, 2021).

Dado a atual infraestrutura de gestão de dados do campus, na qual dados de sensores de temperatura, umidade, luminosidade, movimentação e qualidade do ar são capturados e exibidos em dashboards junto de plantas 2D, nasce a oportunidade de evolução do Gêmeo Digital. Este termo, também conhecido por Digital Twin é caracterizado pelo desenvolvimento de um ambiente digital que represente fielmente um ambiente físico e nele possa expor dados e propriedades de itens e instrumento

5 METODOLOGIA

5.1 DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do trabalho foi necessária a interação com o Centro de Pesquisas do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT), pois são responsáveis pela instalação e desenvolvimento dos sensores utilizados no projeto, além de serem os fundadores do *Smart Campus*. Foi preciso um estudo quanto a infraestrutura de monitoramento e ao funcionamento do analítico do Mauá *Smart Campus*, interpretados abaixo:

5.1.1 Infraestrutura de monitoramento

Nas salas dos blocos do IMT estão presentes caixas com sensores que monitoram temperatura, luminosidade, umidade e movimento. Estes sensores foram criados e programados por Bruno Veiga Lucas e Thiago Baldim dos Santos, autores do TCC “Luz de emergência Smart” (LUCAS; SANTOS, 2018). Juntos de antenas transmitem os dados para o IMT Network Server, sistema computacional responsável por centralizar as informações do monitoramento. Essa transmissão ocorre por meio da Rede LoRaWAN, caracterizada por transmitir dados por longa distância, visto que o campus é um ambiente aberto.

Os dados enviados pelos sensores podem ser visualizados, em tempo real, por meio de *dashboards* interativos presentes no Smart Campus Online, *website* alimentado pelas informações do *Network Server*.

5.1.2 Analítico da transmissão de dados

A transmissão da informação entre o *Network Server* e *Smart Campus online* da Mauá ocorre via MQTT, protocolo de mensagens IoT leve baseado no modelo de publicação / assinatura a um broker. Para executar tarefas simples de servidor e *dashboards*, existe uma ferramenta visual chamada *Node-Red*, a qual é caracterizado por ser uma ferramenta visual de ambiente de código aberto composto por nodes, nós, interligados para compor um fluxo de programação (NODE-RED, 2021).

Figura 8 - Modelagem 3D renderizada



Fonte: Os autores, 2021

Após conclusão da modelagem 3D, o arquivo foi enviado ao Autodesk Forge, uma plataforma em nuvem responsável por inúmeras funções dentre as quais: automatizar processos, conectar equipes e fluxos de trabalho de forma remota, visualizar dados, visualizar modelos 3D e gerenciar usuários da conta para criar soluções a partir da interação entre suas APIs (*Application Programming Interfaces*) que em tradução livre para o português são “Interfaces de Programação de Aplicações”. As APIs são caracterizadas como protocolos e códigos que auxiliam a comunicação entre *softwares* e a plataforma central de maneira flexível e simplificada a fim de otimizar o desenvolvimento de novas soluções (AUTODESK FORGE, 2021).

Ainda sobre o Autodesk Forge, pode-se considerar como uma ferramenta que aumenta a capacidade de funcionalidade dos modelos feitos em BIM, permitindo o desenvolvimento de novos aplicativos a partir do projeto original. Ele facilita a incorporação de mais de 50 tipos de formatos de arquivo para serem exibidos na web, sem a necessidade de consumo de memória de máquina ou instalação de algum software específico. (AUTODESK, 2018).

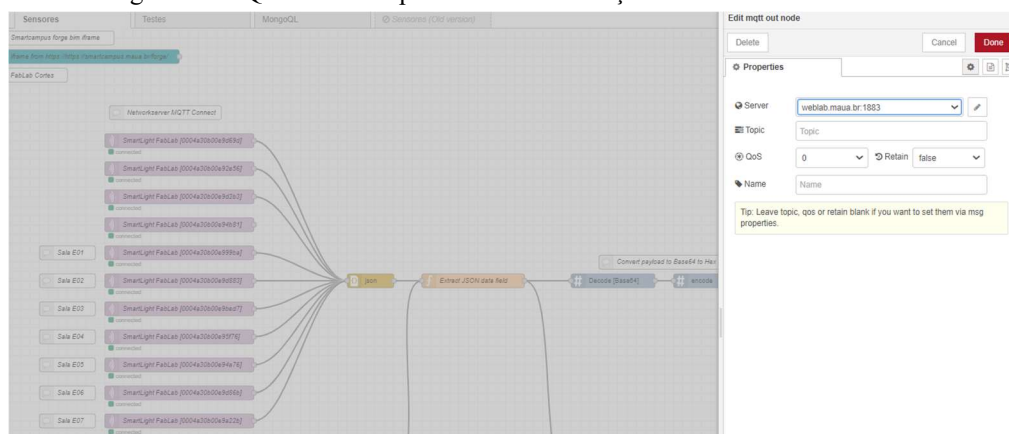
Para que fosse possível a leitura do modelo disponível na nuvem da plataforma por outras aplicações ocorre o uso da API de Derivação do Modelo, que transforma o projeto que antes fora disponibilizado em formato .rvt para um formato universal (.svf) que possibilite a integração com os dados recebidos do servidor, via protocolo MQTT.

Além disso, feito o *upload* na plataforma, de forma automática a API de Gestão de Dados, fará a leitura e das propriedades disponíveis no projeto como por exemplo a propriedade de uma janela, dimensões e tipos de móveis e será possível tanto a visualização destas propriedades na Web, como o armazenamento e a inserção de novos parâmetros.

5.2.2 O Segundo caminho foi o reporte dos dados dos sensores:

Os dados obtidos pelos sensores reportaram informações para o *Network Server*, por meio da rede *LoRaWAN*. Estes dados são tratados no ambiente *Node-RED* e via protocolo MQTT reportados para o `weblab.maua.br:1883`, para isso é utilizado um *broker* com suporte a *websockets*, conforme figura abaixo:

Figura 9 - MQTT broker reportando as informações ao `weblab.maua.br:1883`

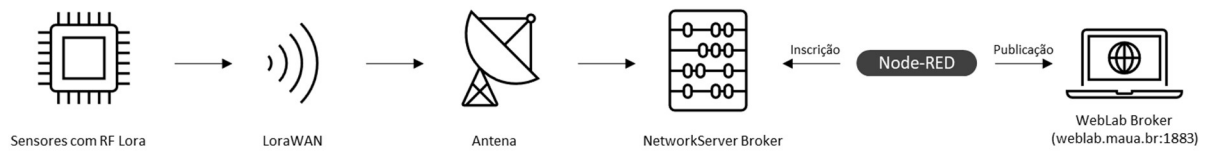


Fonte: Os autores, 2021\

Nas pesquisas foi encontrado o código aberto desenvolvido pela Autodesk chamado Pier9.IoT disponibilizado em GitHub, plataforma de hospedagem de código-fonte (PIER9.IOT, 2021). Esse código foi responsável por criar dashboards com dados integrados ao modelo 3D.

Este código aberto, além de ser responsável pela integração dos dados obtidos nos sensores e agora presentes no `weblab.maua.br:1883` com o modelo web disponibilizado pelo Autodesk Forge, para isso serão necessárias duas APIs já desenvolvidas pela própria plataforma da Autodesk e uma aplicação desenvolvida dentro do código aberto, conforme fluxograma abaixo:

Figura 10 - Fluxograma de ingestão e *report* do Pier9.IoT utilizando Autodesk Forge



Fonte: Os autores, 2021

A ingestão das informações disponíveis dos sensores foi feita de forma automatizada, por um arquivo .json disponível no código aberto, e essas informações foram georreferenciadas para a etapa de integração a modelagem conforme imagem abaixo:

Figura 11 –Ingestão das informações disponíveis dos sensores¹

```

1  {
2    "topic": "astro",
3    "mqtt": {
4      "host": "weblab.maua.br",
5      "port": 1883,
6      "username": "PUBLIC",
7      "password": "public"
8    },
9    "mapping": {
10   "amb": [
11     "Temperatura",
12     "TemperaturaSeries"
13   ],
14   "tmp": [
15     "Temperatura",
16     "TemperaturaSeries"
17   ],
18   "lux": [
19     "Light",
20     "Luminosidade"
21   ],
22   "hum": [
23     "Humidity",
24     "Umidade",
25     "UmidadeSeries"
26   ],
  
```

Fonte: Os autores, 2021

¹ A figura 12 é um exemplo adaptado ao Instituto Mauá de Tecnologia e reflete apenas uma parte de todo código fonte utilizado no trabalho, para consultar o programa em sua integridade sugerimos o download através do endereço: <https://github.com/cyrillef/Pier9.IoT> pois trata-se de um código aberto como dito anteriormente.

o programa faça a leitura e consiga integrá-lo a API de Gestão de Dados, conforme figura abaixo:

Figura 14 - Inserção da chave única do modelo 3D³

```
var models = {
  'poi-': location.origin + './Pier9/0.svf', // Full model
  // 'poi-original': location.origin + './Pier9/0.svf', // Full model, with original definition
  // 'poi-reduced': 'dXJu0mFkc2sub2JqZWN0czpvcy5vYmplY3Q6cGllcjkYXV0b2Rlc2suaW8vUDlftWFjaGluZVM
  'poi-reduced': 'dXJu0mFkc2sub2JqZWN0czpvcy5vYmplY3Q6Y2FxdGhhZDhrN2trNGI5MjdwMnAyemxnYWlndjZiMk
};
var urn = switchModel('poi-reduced'); // default
```

Fonte: Os autores, 2021

Esta API como descrito em itens anteriores, é responsável pela leitura e identificação das propriedades físicas disponíveis no modelo, tais como: material utilizado nas paredes e especificações de vidraças.

O Autodesk Forge, limita de forma padrão, a utilização da API com o mesmo *token* em até 60 minutos por questão de segurança, no entanto é possível alterar essa limitação para mais horas, dias ou até meses.

Para a próxima etapa, o desenvolvimento da linha de programação denominada IoTTools.js é a responsável por desenvolver uma extensão que será integrada ao Forge, reportando as informações recebidas do weblab.maua.br:1883, conforme imagem na sequência:

³ A figura 15 é um exemplo adaptado ao Instituto Mauá de Tecnologia e reflete apenas uma parte de todo código fonte utilizado no trabalho, para consultar o programa em sua integridade sugerimos o download através do endereço: <https://github.com/cyrillef/Pier9.IoT> pois trata-se de um código aberto como dito anteriormente.

Figura 15 –Criação da Extensão para visualização dos dados obtidos pelos sensores⁴

```

this.activate =function (name) {
  if ( _isActive )
    return ;
  _isActive =true ;
  _viewer.loadedExtensions ['Autodesk.IoT'].ioTToolButton.setState (Autodesk.Viewing.UI.Button.State.ACTIVE) ;

  // This is to prevent Shift to disable our tool
  Autodesk.Viewing.theHotkeyManager.popHotkeys ('Autodesk.Pan') ;

  // Connect to our sensor broker
  oMQTT.mqtt.protocol =window.location.protocol == 'https:' ? 'wss' : 'ws' ;
  _mqttClient =mqtt.connect (oMQTT.mqtt) ;
  console.log(`MQTT CLIENT CONNECTING `)

  // _mqttClient =mqtt.connect (oMQTT.mqtt.host,oMQTT.mqtt.port,{oMQTT.mqtt.options.username, oMQTT.mqtt.options.password}) ;
  // console.log(`_mqttClient: ${_mqttClient}`)
  console.log(`_mqttClient: ${JSON.stringify(_mqttClient)}`)

  _mqttClient.on ('connect', function () {
    _mqttClient.subscribe (oMQTT.topic + '/#') ; // Subscribe to all sub-topics
    console.log(`MQTT CLIENT CONNECTED AND SUBSCRIBED TO 'astro/#' Topic `)
  }) ;
  _mqttClient.on ('message', _self.onMqttMessage) ;
}

```

Fonte: Os autores, 2021

Após a criação desta extensão, basta conectá-la a API de Visualização de Dados do Autodesk Forge, para que seja possível enxergar um botão que ative a função de IoT na barra de propriedades do projeto:

Figura 16 - Inserção do Botão para leitura dos sensores na barra de ferramentas do Autodesk Forge⁴

```

Autodesk.Viewing.Extensions.IoTExtension.prototype.load =function () {
  var self =this ;
  var _viewer =this.viewer ;
  var _toolbar =this.viewer.getToolbar (true) ;

  // Register tool
  this.tool =new Autodesk.Viewing.Extensions.IoTTool (_viewer, this) ;
  _viewer.toolController.registerTool (this.tool) ;

  // Add the ui to the viewer.
  if ( _toolbar ) {
    var navTools =_toolbar.getControl (Autodesk.Viewing.TOOLBAR.NAVTOOLSID) ;
    if ( navTools && navTools.getNumberOfControls () > 0 )
      onToolbarCreated () ;
    else
      _viewer.addEventListener (Autodesk.Viewing.TOOLBAR_CREATED_EVENT, onToolbarCreated);
  } else {
    _viewer.addEventListener (Autodesk.Viewing.TOOLBAR_CREATED_EVENT, onToolbarCreated) ;
  }

  function onToolbarCreated () {
    _viewer.removeEventListener (Autodesk.Viewing.TOOLBAR_CREATED_EVENT, onToolbarCreated) ;
    self.createUI (_toolbar) ;
  }
}

```

⁴ As figuras 16 e 17 são um exemplo adaptado ao Instituto Mauá de Tecnologia e refletem apenas uma parte de todo código fonte utilizado no trabalho, para consultar o programa em sua integridade sugerimos o download através do endereço: <https://github.com/cyrillef/Pier9.IoT> pois trata-se de um código aberto como dito anteriormente.

Fonte: Os autores, 2021

De forma geral, esses processos já acontecem de forma automatizada e para ativá-los basta executar a aplicação start.js que fará a leitura do modelo, dos dados dos sensores e os integrará conforme descrito nas etapas, a figura a seguir mostra a linha de código da execução:

Figura 17 – Execução da Aplicação⁵



```

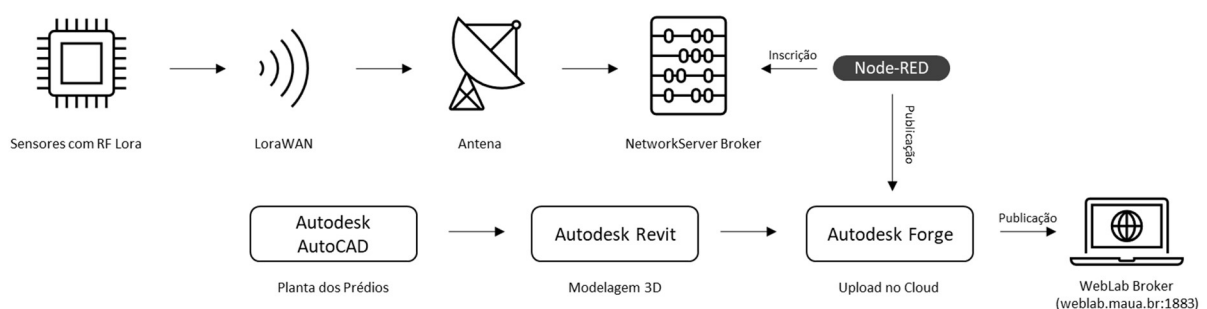
24 var app = require('./server/server');
25
26 // var server = app.listen(app.get('port'), function () {
27 var server = app.listen(app.get('port'), function () {
28   console.log('API key ' + process.env.FORGE_CLIENT_ID);
29   console.log('Server listening on port ' + server.address().port);
30 });
31
32 server.on('error', function (err) {
33   if (err.errno == 'EACCES' || err.errno == 'EADDRINUSE') {
34     console.log('Port ' + app.get('port') + ' already in use.\nExiting...');
35     process.exit(1);
36   } else {
37     console.log('Error: ' + err.errno);
38   }
39 });

```

Fonte: Os autores, 2021

O Gêmeo Digital nasce a partir dessa integração em Web entre dados dos sensores e modelagem 3D com propriedades.

Figura 18 – Fluxo Macro de desenvolvimento do Gêmeo Digital



Fonte: Os autores, 2021

⁵ A figura 18 é um exemplo adaptado ao Instituto Mauá de Tecnologia e reflete apenas uma parte de todo código fonte utilizado no trabalho, para consultar o programa em sua integridade sugerimos o download através do endereço: <https://github.com/cyrillef/Pier9.IoT> pois trata-se de um código aberto como dito anteriormente.

6 RESULTADOS

6.1 CRIAÇÃO DO MODELO 3D

O *campus* do Instituto Mauá de Tecnologia localizado em São Caetano do Sul segue um fluxo de investimentos que aprimoram e modernizam a infraestrutura dos ambientes de estudo.

Os projetos ofertados pela GMS continham plantas e vistas dos blocos D e E, além dos jardins externos, desenvolvidos no software *Autodesk AutoCad*.

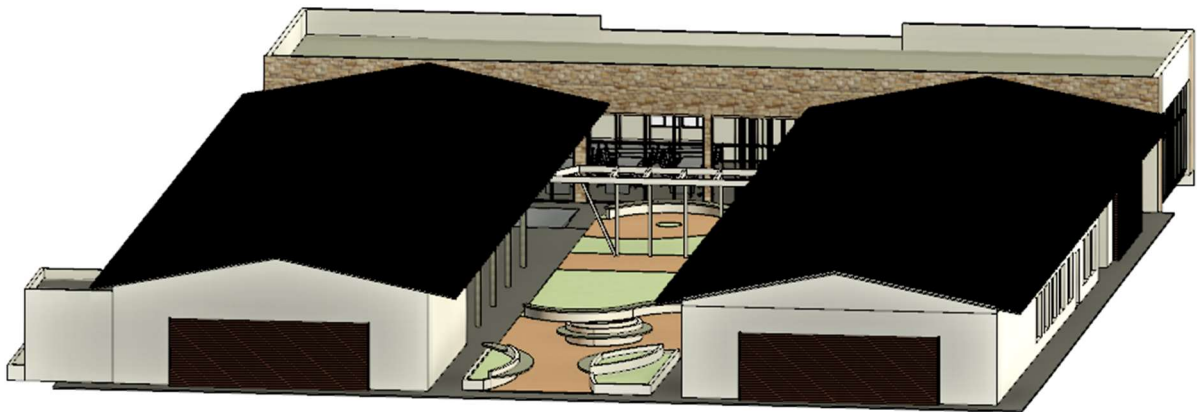
Figura 19 - Projeto 2D blocos D e E em Autodesk Autocad



Fonte: Os autores, 2021

Estes projetos 2D foram exportados para o *software Autodesk Revit* para servirem de referência para criação do modelo 3D, que representou fielmente os ambientes físicos do campus.

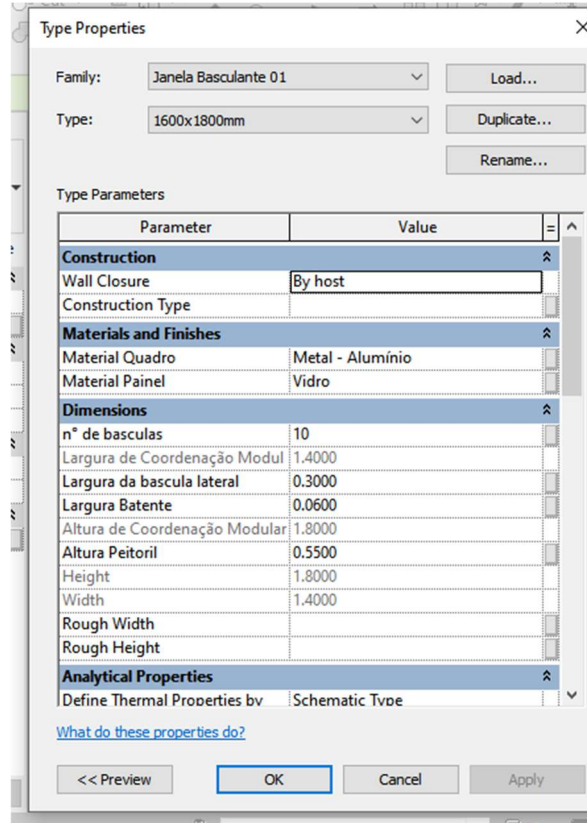
Figura 20 - - Modelo 3D dos blocos D e E em Autodesk Revit



Fonte: Os autores, 2021

O *software* Autodesk Revit foi adotado no projeto visto que junto da modelagem 3d é possível adicionar propriedades aos objetos, ou seja, cada item do modelo possui parâmetros que o detalham e qualificam.

Figura 21 - Janela e tabela de propriedades em Autodesk Revit

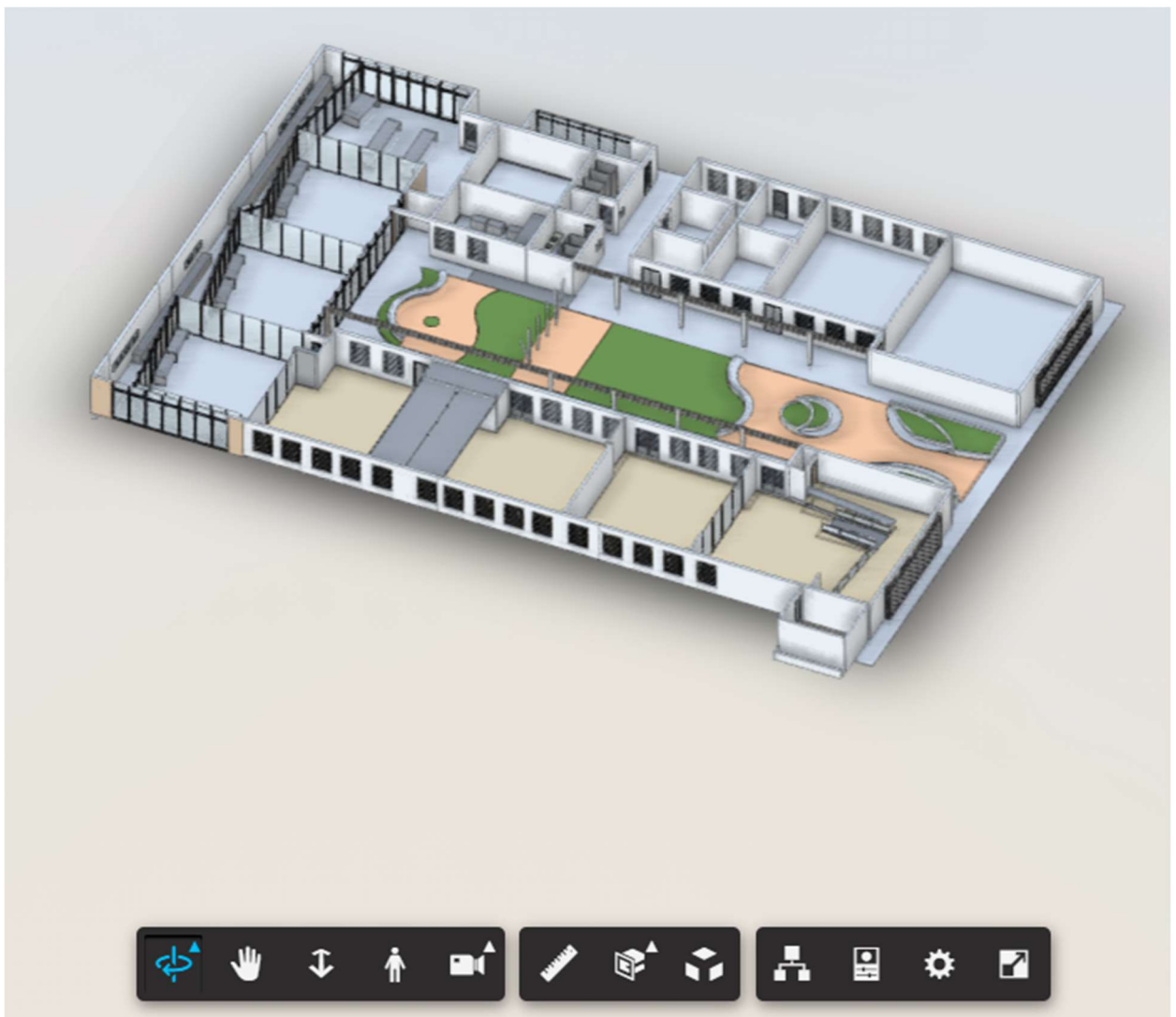


Fonte: Os autores, 2021

A Figura 21 ilustra um exemplo dessa parametrização dos itens, no caso uma Janela foi selecionada, tornando-se azul, e automaticamente abriu-se uma página com detalhes do objeto, tais quais: altura, largura, espessura, material dos painéis e analíticos de transparência, resistência térmica etc.

Em seguida o modelo 3D foi integrado a Plataforma *Autodesk Forge* a partir do upload do arquivo, junto a API de Derivação do Modelo.

Figura 22 - Upload do modelo na plataforma Autodesk Forge



Fonte: Os autores, 2021

Figura 23 - Modelo 3D visualizado no Autodesk Forge Viewer



Fonte: Os autores, 2021

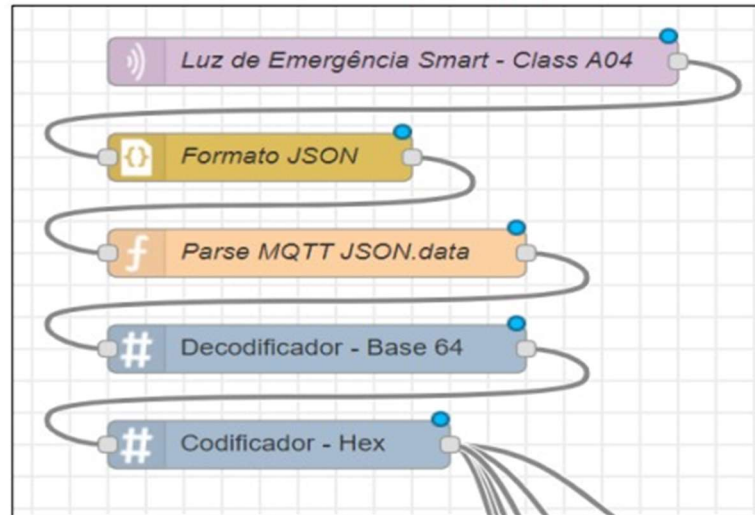
A Figura 23 demonstra a representação dos Blocos D e E disponíveis para visualização em ambiente web e navegação utilizando a barra de ferramentas e *View Cube* do *API Viewer*.

6.2 TRANSMISSÃO DE DADOS

O desenvolvimento analítico do projeto foi iniciado em ambiente *Node-RED*, para acesso as informações do *Network Server*, através da comunicação MQTT.

Como base de desenvolvimento foram utilizados nodes já existentes no *Smart Campus*, resultado do TCC Luz de emergência Smart, 2018, responsáveis pelas etapas de recebimento de dados até decodificação.

Figura 24 - Fluxo inicial de nodes em ambiente Node-RED



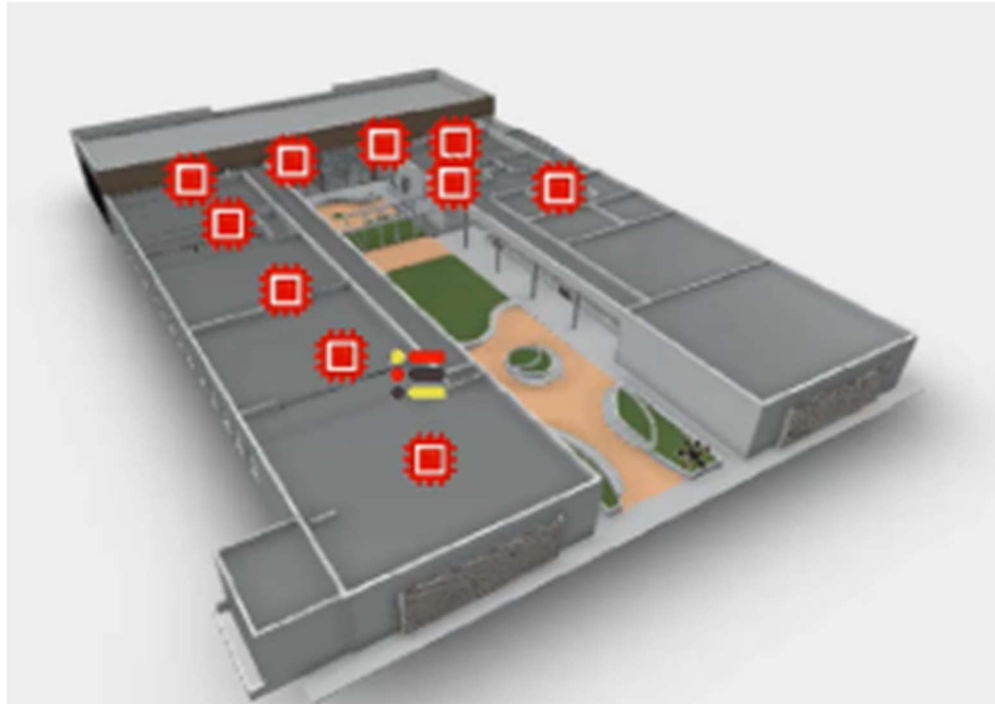
Fonte: Os autores, 2021

Para executar o código aberto Pier9.IoT é necessário o uso de três APIs do *Autodesk Forge*:

- 1- *Autenticação (OAuth)*: estrutura de autorização que permite que um aplicativo de terceiros obtenha acesso, a partir de número de identificação e senha, aos dados armazenados na nuvem (IMT Network Server).
- 2- *Model Derivative*: permite a tradução de arquivos de modelos para outros formatos, no caso do projeto o formato RVT do modelo em *Autodesk Revit* foi alterado para SVF a fim de possibilitar exibição do modelo já renderizado.
- 3- *Viewer*: possibilita visualizar e compartilhar modelos renderizados 3D desenvolvidos no *software Autodesk Revit*. Por meio de uma barra de ferramentas localizada na parte inferior é possível realizar interações com o modelo, como: cortar, segregar os componentes, medir, rotacionar. Também se encontra-se presente o *View Cube*, cubo localizado no canto superior direito, que permite alterar a perspectiva de visualização do modelo.

O Pier9.IoT conta com uma linha de programação que possibilita a exibição de sensores georreferenciados no modelo 3D, junto de um botão que habilita o uso.

Figura 25 - Modelo 3D visualizado no Autodesk Forge Viewer

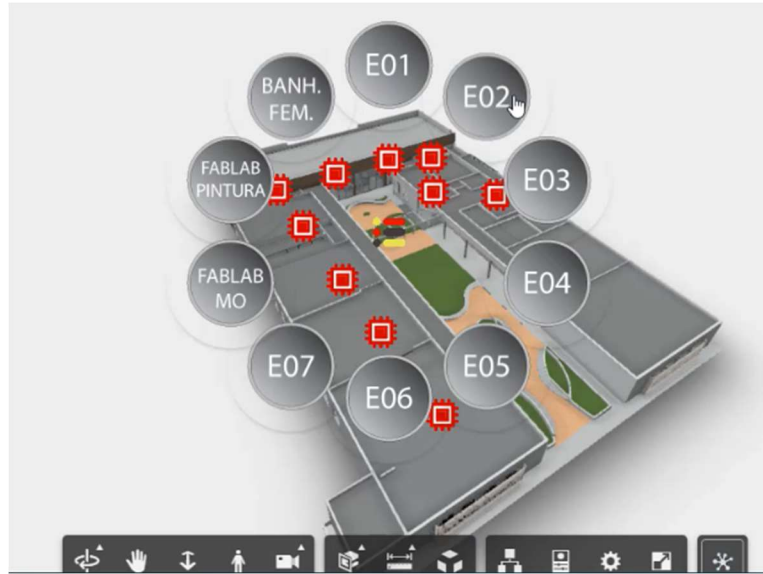


Fonte: Os autores, 2021

Os sensores podem ser identificados pelos quadrados vermelhos, conforme figura 25 e habilitados pelo botão adicionado no canto extremo direito da barra de ferramentas.

Para visualização de todos os sensores há um menu interativo que exibe cada ambiente monitorado, conforme Figura 26.

Figura 26 - Modelo 3D visualizado no Autodesk Forge Viewer



Fonte: Os autores, 2021

O Pier9.IoT conta com uma linha de programação que possibilita a exibição de *dashboard* georreferenciados no modelo 3D, junto com um analítico para funcionalidade de um botão que habilite a exibição dos dados, este se encontra no canto extremo direito da barra de ferramentas, conforme Figura 26.

Figura 27 - Modelo 3D com dados visualizado no Autodesk Forge



Fonte: Os autores, 2021

Na Figura 27 é possível identificar um *dashboard* com gráficos de linha na cor verde que mostram as alterações de temperatura e umidade enquanto seus valores são mostrados nos

gráficos em forma de velocímetro logo a direita. Além disso, existem outros três no mesmo formato, indicando luminosidade, voltagem e carga de bateria. O *front-end* foi criado dentro da seção IoTTools do código aberto Pier9.IoT, já descrito anteriormente, e como está georreferenciado é possível caminhar dentro do ambiente, ou selecionar algum material sem interferir na funcionalidade do *dashboard* demonstrando a integração.

6.3 VANTAGENS DA INTEGRAÇÃO

Obter dados e informações quanto ao funcionamento das infraestruturas possibilita uma gestão eficiente dos ambientes físicos, visto a possibilidade do diagnóstico de um problema de maneira remota e analítica.

6.3.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Esses foram benefícios que, visando a eficiência energética, podem ser revertidos em ganhos financeiros a partir de adequação do uso da infraestrutura em diferentes cenários:

1 - O sensor de luminosidade informa a quantidade de lux no ambiente, podendo indicar se as lâmpadas precisam ser ligadas ou se a iluminação natural é suficiente.

2 - O sensor de movimento ao reportar dados quanto ao fluxo de pessoas no ambiente abre oportunidade para gerenciar de maneira eficiente a iluminação utilizada a fim de gerar economia financeira.

3 - Sensor de movimento informa o fluxo de pessoas no ambiente, podendo indicar a periodicidade de atividade humana e gerenciar de maneira eficiente a rotina de equipes de limpeza.

4 - Os dados do sensor de movimento combinados com os de temperatura gera oportunidade de otimizar o funcionamento de equipamentos de ar-condicionado para os ambientes em diferentes rotinas

6.3.2 VISUALIZAÇÃO 3D

A criação de um modelo 3D permite que o usuário possa explorar e conhecer ambientes realistas de maneira digital e em primeira pessoa. Ao estar disponível em nuvem permite acesso sem restrição geográfica e fácil navegabilidade sem necessitar conhecimentos técnicos específicos de softwares para manuseio.

6.3.3 BIM 7D – GESTÃO DE ATIVO

Geração de dados do desempenho da infraestrutura permite desenvolver analíticos quanto a rotina de operação das instalações e assim iniciar estudos quanto a vida útil aliada ao planejamento de reparos preditivos.

7 CONCLUSÃO.

O Projeto se enquadrou em um contexto tecnológico global ainda em maturação quanto as aplicações e ferramentas desenvolvidas, sendo escassa as fontes de informação com conteúdo técnicos e analíticos. A fim de cumprir com os objetivos houve engajamento coletivo para viabilizar o processo de integração entre sistemas complementares para a solução final, um Gêmeo Digital dos blocos D e E do Instituto Mauá de Tecnologia.

Por mais que a plataforma utilizada, Autodesk Forge seja compatibilizada, via APIs, com base de dados e modelo 3D, houve dificuldade em realizar a integração das informações apenas com as APIs disponíveis. Foi necessário realizar adaptações a partir do uso de um código aberto, Pier9.IoT, que realiza a gestão entre as ferramentas para que viabilize a integração. Os dashboards gerados ainda são simples e podem ser aprimorados para exibir dados de maneira mais clara e personalizada para cada aplicação.

Com a integração foi possível gerar um aprimoramento do *Smart Campus* ao tornar possível visualizar os dados dos sensores juntos de uma visão 3D, possibilitando visitar os ambientes em primeira pessoa além de selecionar objetos para visualizar seus detalhes e propriedades.

O modelo 3D foi uma reprodução arquitetônica fiel dos blocos D e E do IMT e ao ser desenvolvido em Autodesk Revit, parte da metodologia BIM, teria a possibilidade de contar com recursos topográficos, que detalham referência de níveis e características do terreno, que não foram inseridos no projeto.

O uso de dados abre oportunidade para eficiência energética ao monitorar o funcionamento da infraestrutura e adequar os diferentes cenários para economia financeira, como: relação dados sensor de movimento e luminosidade para otimizar o uso de luz. Além do mais obter dados junto das propriedades dos objetos abre oportunidade para monitoramento da vida útil e manutenção preditiva, visando gestão do ativo.

Ainda que os dados dos sensores estejam sendo mostrados no modelo 3D, o protocolo MQTT é capaz apenas de reproduzi-los e não armazená-los, ou seja, para atingir o objetivo de gestão da edificação, é necessário a utilização de bancos de dados que capturem as informações do *NetworkServer* do IMT, e através de linhas de programação, utilizando Python, por exemplo, criem-se funções que correlacionem as medições de temperatura, presença e iluminação por meio de modelos matemáticos afim de obter a economia financeira desejada.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A INTERNET DAS COISAS. SÃO PAULO. Disponível em : <INTERNET-DAS-COISAS.PNG (1000×1000) (PROPUS.COM.BR)>. Acesso em: 30 jun. 2021

AL-FUQAHA, Ala et al. Internet das coisas: Uma pesquisa sobre a habilitação de tecnologias, protocolos e aplicativos. Pesquisas e tutoriais de comunicações do IEEE, v. 17, n. 4, p. 2347-2376, 2015.

AMARAL, Renato Dias Calado Do; FILHO, Armando Carlos de Pina. A Evolução do CAD e sua Aplicação em Projetos de Engenharia. Nono Simpósio de Mecânica Computacional 26 a 28 de maio de 2010 - Universidade Federal de São João Del-Rei – MG, [S. l.], p. 8, 2010. Disponível em: <http://www.ufsj.edu.br/simmecc2010/pagina/desdesoft/DES-02.pdf>.

ANDRADE, M. L.; RUSCHEL, R. C. Bulding Information Modeling (BIM). In: KOWALTOWSKI, D. C. C. K. et al. O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia, 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, cap. 21. p. 421-442, 2011.

ASHTON, KEVIN. That ‘Internet of Things’ thing. Publicano no RFID Journal, 2009. Disponível em <https://www.rfidjournal.com/contribute-a-guest-article-to-rfid-journals-audience>. Acesso em 20 jun. 2021.

ATTAR, Ramtin; HAILEMARIAM, Ebenezer; BRESLAV, Simon; KHAN, Azam; KURTENBACH, Gord. Sensor-enabled cubicles for occupant-centric capture of building performance data. ASHRAE Transactions, [S. l.], v. 117, n. PART 2, p. 441–448, 2011.

ATTAR, Ramtin; PRABHU, Venk; GLUECK, Michael; KHAN, Azam. 210 king street: A dataset for integrated performance assessment. Spring Simulation Multiconference 2010, SpringSim’10, [S. l.], 2010. DOI: 10.1145/1878537.1878722.

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The Internet of Things: A survey. Computer Networks, [S. l.], v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. DOI: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.

BACCARINI, David. The concept of project complexity - A review. *International Journal of Project Management*, [S. l.], v. 14, n. 4, p. 201–204, 1996. DOI: 10.1016/0263-7863(95)00093-3.

BARACHO, Renata M. A.; PEREIRA, Mário L.; ALMEIDA, Maurício B. Ontologia, Internet das Coisas e Modelagem da Informação da Construção (BIM): Estudo Exploratório e a Inter-relação entre as Tecnologias. *CEUR Workshop Proceedings*, [S. l.], v. 1908, p. 141–146, 2017.

BATTY M., Axhausen K. W., Giannotti F., Pozdnoukhov A., Bazzani A., Wachowicz M., Ouzounis G., & Portugali Y. (2012). Smart cities of the future. *European Physical Journal: Special Topics*, 214(1), 481-518. doi: 10.1140/epjst/e2012-01703-3.

BENEDITO-BORDONAU, Mauri; GARGALLO, Diego; AVARIENTO, Joan; SANCHIS, Ana; GOULD, Michael; HUERTA, Joaquín. Uji Smart campus: un ejemplo de integración de recursos em la Universitat Jaume I de Castelló. In: *JIIDE 2013, Toledo. Anais das IV Jornadas Ibéricas de Infraestructuras de Datos Espaciales*, Toledo: Centro Nacional de Información Geográfica, 2013, p. 1-12.

BENTLEY 2019, Disponível em: https://www.bentley.com/pt/project-profiles/2019/foth_cedar-falls-iowa

BERNARDES, Maurício Moreira e Silva. Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS, [S. l.], p. 310, 2001.

BERNSTEIN, Steven. Legitimacy in Global Environmental Governance. [S. l.], v. 1, n. August, 2014.

BRASIL. Decreto no 10.306, de 2 de abril de 2020. [S. l.], p. 5–7, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm.

BROWN, H. *Next Generation Infrastructure: Principles for Post-Industrial Public Works*. 3. ed. [s.l.] Island Press, 2014.

CABRAL, L. N., & Cândido, G. A. (2019). Urbanização, vulnerabilidade, resiliência: relações conceituais e compreensões de causa e efeito. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 11, e20180063. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.002.AO08>

CAMPESTRINI, TIAGO FRANCISCO; GARRIDO, MARLON CÂMARA; MENDES JR, RICARDO; SCHEER, SÉRGIO; FREITAS, MARIA DO CARMO DUARTE. Entendendo BIM. [s.l: s.n.].

CARAGLIU, Andrea; DEL BO, Chiara; NIJKAMP, Peter. Smart cities in Europe. 3rd Central European Conference in Regional Science, p. 45-59, 2009.

COCCHIA, A. (2014). Smart and digital city: a systematic literature review. *Smart City: How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space*, 13-43. doi: 10.1007/978-3-319-06160-3_2.

COELHO, Sérgio Salles; NOVAES, Celso Carlos. Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil. [S. l.], p. 1-7, 2008. Disponível em: http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/gpacc/BIM/referencias/COELHO_2008.pdf.

CUNHA, Maria Alexandra et al. Smart cities: transformação digital de cidades. 2016.

DAMERI, R. P. Searching for smart city definition: a comprehensive proposal. *International Journal of Computers & Technology*, v. 11, n. 5, p. 2544-2551, 2013

DINIZ, Eduardo H. Internet das coisas. *GV-executivo*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 59, 2006. DOI: 10.12660/gvexec.v5n1.2006.34372.

DOMINGUE, John; FENSEL, Dieter; HENDLER, James A. (Ed.). Manual de tecnologias web semânticas. Springer Science & Business Media, 2011.

GRIEVES, Michael. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication This paper introduces the concept of a A Whitepaper by Dr . Michael Grieves. White Paper, [S. l.], n. March, 2015.

DUTTA, S. (Ed.). (2011). *The Global Innovation Index 2011: accelerating growth and development*. Fontainebleau: INSEAD.

EASTMAN, Chuck et al. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Bookman Editora, 2014.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors Second Edition. New Jersey: John Wiley & sons, 2011.

FACCIONI, M. IoT: Smart Grid, Energia e Sistemas de Infraestrutura. [S. l.], n. November, p. 1–47, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337496016_IoT_Smart_Grid_Energia_e_Sistemas_de_Infraestrutura.

FORMOSO, T. C. (2001). Planejamento e controle da produção em empresas de construção. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GIFFINGER, R., & Gudrun, H. (2010). Smarter cities ranking: an effective instrument for the positioning of cities? ACE: Architecture, City and Environment, 12, 7-25.

GUBBI, Jayavardhana; BUYYA, Rajkumar; MARUSIC, Slaven; PALANISWAMI, Marimuthu. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, [S. l.], v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013. DOI: 10.1016/j.future.2013.01.010.

GUO, Bin; ZHANG, Daqing; YU, Zhiwen; LIANG, Yunji; WANG, Zhu; ZHOU, Xingshe. From the Internet of things to embedded intelligence. World Wide Web, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 399–420, 2013. DOI: 10.1007/s11280-012-0188-y.

HAILEMARIAM, Ebenezer; GOLDSTEIN, Rhys; ATTAR, Ramtin; KHAN, Azam. Real-time occupancy detection using decision trees with multiple sensor types. Procs. of the 2011 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, [S. l.], n. January, p. 141–148, 2011.

HARALD SUNDMAEKER. Future Internet Strategic Research Agenda. [s.l: s.n.]. DOI: 10.2759/26127.

HARRISON, Colin; DONNELLY, Ian. A theory of smart cities. 55th Annual Meeting of the International Society for the Systems Sciences, p. 521-535, 2011.

HERNÁNDEZ-MUÑOZ, José M.; VERCHER, Jesús Bernat; MUÑOZ, Luis; GALACHE, José A.; PRESSER, Mirko; HERNÁNDEZ GÓMEZ, Luis A.; PETTERSSON, Jan. Smart cities at the forefront of the future Internet. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), [S. l.], v. 6656, n. October 2014, p. 447–462, 2011. DOI: 10.1007/978-3-642-20898-0_32.

ISIKDAG, U.; UNDERWOOD, Jason. A Synopsis of the Handbook of Research on Building Information Modelling. W113 - Special Track 18th CIB World Building Congress, [S. l.], n. December 2009, p. 84–96, 2010.

INFSO D.4 NETWORKED ENTERPRISE & RFID INFSO G.2 MICRO & NANOSYSTEMS – version 1.1 – 2008.

KOMNINOS, N. (2002). Intelligent cities: innovation, knowledge systems, and digital spaces. London: Spon Press.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. et al. O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia, 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, cap. 21. p. 421-442, 2011.

KWOK, Lam-for. A vision for the development of i-campus. Smart Learning Environments, v. 2, n.2, p. 1-12, 2015.

LEWIN KURT. Frontier in Group Dynamics. Human Relations, [S. l.], 1947.

LUCAS, Bruno Veiga; SANTOS, Thiago Baldim dos. Luz de emergência Smart. — São Caetano do Sul: CEUN-IMT, 2018. 107 p. Disponível em: <https://smartcampus.maua.br/#inicio>. Acesso em 30 jun. 2021.

MATTERN, Friedemann; FLOERKEMEIER, Christian. From the Internet of Computers to the Internet of Things. [s.l: s.n.]. v. 33 DOI: 10.1007/978-3-642-17226-7_15.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. Concreto: ciência e tecnologia, [S. l.], v. 1, p. 773–808, 2011.

MELHADO, Silvio Burrattino. Gestão, cooperação e integração para um novo modelo voltado à qualidade do processo de projeto na construção de edifícios. São Paulo, [S. l.], p. 235, 2001.

Disponível

em:

<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:GEST?O+,+COOPERA??O+E+INTEGRA??O+PARA+UM+NOVO+MODELO+VOLTADO+?+QUALIDADE+DO+PROCESSO+DE+PROJETO+NA+CONSTRU??O+DE+EDIF?CIOS#0>.

MINERVA, Roberto; BIRU, Abyi; ROTONDI, Domenico. Towards a definition of the Internet of Things (IoT). IEEE Internet Initiative, v. 1, n. 1, p. 1-86, 2015.

MING, Z. H. O. U.; YAN, M. A. QoS-aware método computacional para serviço composto IoT. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, v. 20, p. 35-39, 2013.

NEIROTTI, Paolo; DE MARCO, Alberto; CAGLIANO, Anna Corina; MANGANO, Giulio; SCORRANO, Francesco. Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. Cities, v. 38, p. 25-36, 2014.

PAPAMICHAEL, Konstantinos. Application of information technologies in building design decisions. Building Research and Information, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 20–34, 1999. DOI: 10.1080/096132199369624.

PENTTILÄ, Hannu. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. Electronic Journal of Information Technology in Construction, [S. l.], v. 11, n. February, p. 395–408, 2006.

SMART CAMPUS MAUA. 2021. Disponível em: <https://smartcampus.maua.br/#inicio>. Acesso em 30 jun. 2021.

STORPER, M. (1997). The city: centre of economic reflexivity. Service Industries Journal, 17(1), 1-27. <http://dx.doi.org/10.1080/02642069700000001>

United Nations – UN. Department of Economic and Social Affairs Population Division. (2014a). World Urbanization Prospects: the 2014 revision. New York: United Nations. Recuperado em 20 de abril de 2015, de <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.pdf> United Nations – UN. Department of Economic and Social Affairs Population Division. (2014b). World Urbanization

Prospects: the 2014 revision (pp. 517). New York: United Nations. Recuperado em 20 de abril de 2015, de <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-report.pdf>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Urbanization Prospects 2018: Highlights (ST/ESA/SER.A/421). Disponível em <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). The speed of urbanization around the world. Online Edition. Disponível em https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-PopFacts_2018-1.pdf

USUDA, Fábio. A INTEGRAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL E PROJETOS ASSOCIADOS. [S. l.], v. 18, p. 19–28, 2003.

WANG, W. et al. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. *Automation in construction*, v. 37, p. 68-80, 2014. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.009>

YOVANOF, G. S., & Hazapis, G. N. (2009). An architectural framework and enabling wireless technologies for digital cities & intelligent urban environments. *Wireless Personal Communications*, 49(3), 445-463. Available at <http://www.springerlink.com/content/g1v63025217mt8x0/>.