

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS  
GERAIS - *CAMPUS* AVANÇADO PIUMHI  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Hiago da Silva Dantas

A IMPORTÂNCIA DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CIDADE (CIM) PARA A  
SUSTENTABILIDADE DAS CIDADES

Piumhi – Minas Gerais

2024

Hiago da Silva Dantas

A IMPORTÂNCIA DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CIDADE (CIM) PARA A  
SUSTENTABILIDADE DAS CIDADES

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil pelo Instituto  
Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais.

Orientador: Professor Me. Humberto Coelho de  
Melo

Piumhi – Minas Gerais

2024

---

D192i Dantas, Hiago da Silva.  
A importância da modelagem da informação da cidade  
(CIM) para a sustentabilidade das cidades [manuscrito] / Hiago  
da Silva Dantas. – 2024.  
63 f. : il. color.

Orientador: Humberto Coelho de Melo.  
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto  
Federal Minas Gerais. *Campus Avançado Piumhi*, 2024.

1. Sustentabilidade. 2. Modelagem da Informação da  
Cidade. 3. Modelagem da Informação da Construção. 4.  
Planejamento urbano. 5. Geoprocessamento. I. Melo,  
Humberto Coelho de. II. Instituto Federal de Minas Gerais.  
*Campus Avançado Piumhi*. III. Título.

CDD 711.4

---

Catálogo: Andreia Cristina Damasceno - CRB-6/1974



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
**Campus Avançado Piumhi**  
**Diretoria de Ensino**  
**Docentes Campus Avançado Piumhi**  
Rua Severo Veloso 1880 - Bairro Bela Vista - CEP 37925-000 - Piumhi - MG  
(37)3371-3353 - www.ifmg.edu.br

Hiago da Silva Dantas

## **A IMPORTÂNCIA DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CIDADE (CIM) PARA A SUSTENTABILIDADE DAS CIDADES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 06/03/2024 pela banca examinadora:

### **BANCA EXAMINADORA**



Documento assinado eletronicamente por **Humberto Coelho de Melo, Professor**, em 06/03/2024, às 21:03, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Carla Cristiane Silva, Professora**, em 07/03/2024, às 07:59, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Stella Maria Gomes, Professora**, em 07/03/2024, às 13:29, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Tatiane Oliveira Failache, Professora**, em 07/03/2024, às 13:32, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador 1861787 e o código CRC CDE113B0.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho deu-se por concluído graças àqueles que, direta ou indiretamente, tornaram possível a chegada deste momento. Aos quais deixo uma palavra de gratidão.

Manifesto minha gratidão aos professores, servidores e amigos do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* Piumhi, em particular, ao Professor Mestre Humberto Coelho de Melo pela orientação e acompanhamento desde o início deste projeto. Não deixo de agradecer também ao imprescindível apoio do IFMG especialmente à Assessoria e Relações Internacionais (ARINTER) pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa que embasa este trabalho em Portugal.

Ao Professor Doutor José Manuel Sousa, orientador desta pesquisa no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), agradeço o apoio, a partilha de conhecimentos e as valiosas contribuições para o trabalho. Foi um grande privilégio trabalhar contigo.

Agradeço a todos familiares e amigos pelo constante incentivo e apoio.

E como os últimos são sempre os primeiros, sou profundamente grato à minha avó “*in memoriam*” e à minha mãe pelo incondicional suporte e por não medirem esforços no apoio aos meus sonhos e, tampouco, na minha educação.

A todos, muito obrigado!

## RESUMO

O crescimento da população urbana tem gerado um aumento na complexidade dos sistemas de infraestrutura e nas consequências ambientais da atividade humana. Assim, é essencial que os conceitos da sustentabilidade sejam implementados no desenvolvimento das cidades. Neste sentido, o presente trabalho visa estudar como a Modelagem da Informação da Cidade (CIM) pode contribuir à entrega de melhores serviços e qualidade de vida à população urbana. Para tal, analisou-se a Norma Internacional ISO 37120:2014 (Desenvolvimento sustentável das comunidades — Indicadores para os serviços urbanos e a qualidade de vida) e verificou-se que 53 dos seus 100 indicadores podem ser avaliados com dados oriundos de Modelagem da Informação da Construção (BIM) e de Modelagem da Informação da Cidade (CIM). Com isso, concluiu-se que os modelos BIM e CIM permitirão acompanhar de maneira mais exata e automatizada o desenvolvimento sustentável das cidades em tempo real. Possibilitando, além da resposta à ISO 37120:2014, monitorar e avaliar a performance dos serviços públicos para subsidiar tomadas de decisões mais assertivas.

Palavras-chave: sustentabilidade; modelagem da informação da cidade (CIM); modelagem da informação da construção (BIM); planejamento urbano; geoprocessamento.

## **ABSTRACT**

The urban population growth has caused an increase of infrastructure systems' complexity and consequences of human activity over the environment. Therefore, it is essential that sustainability concepts are implemented in urban development. This work presents a study of how City Information Modeling (CIM) can provide better delivery of public services and quality of life to citizens. To reach this objective, the International Standard ISO 37120:2014 (Sustainable development of communities – Indicators for city services and quality of life) was analysed and it was verified that data from Building Information Modeling (BIM) and CIM can be used to evaluate 53 out of 100 indicators. It was concluded that BIM and CIM models could contribute, in an automatized and more accurate way, to monitor the city sustainable development in real time. In addition to answer the ISO 37120:2014, CIM can eventually improve the assessment of public service performance to assist the city's managers to take more assertive decisions.

**Keywords:** sustainability; city information modeling (CIM); building information modeling (BIM); urban planning; geoprocessing.

## **LISTA DE FIGURAS**

- Figura 3.1 – Níveis de empenho durante o ciclo de vida de um projeto, tradução própria. .... 32
- Figura 3.2 - Esquema de integração de dados para criar um modelo CIM, tradução própria. .37
- Figura 3.3 – Representação de uma edificação real nos níveis de detalhes de 0 a 3 (LODs). .38



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Estrutura do BREEAM <i>Communities</i> .....	25
Tabela 3.2 – Estrutura do SBToolPT–PU. ....	26
Tabela 3.3 – Estrutura da Ferramenta ASUS. ....	28
Tabela 3.4 – Estrutura do LiderA. ....	30
Tabela 4.1 – Número de indicadores da ISO 37120:2014 por tema.....	41
Tabela 4.2 – Indicadores do tema energia classificados por fonte de dados. ....	42
Tabela 4.3 – Indicadores do tema ambiente classificados por fonte de dados. ....	43
Tabela 4.4 – Indicadores do tema resposta a incêndios e emergências classificados por fonte de dados. ....	44
Tabela 4.5 – Indicadores do tema recreação classificados por fonte de dados. ....	44
Tabela 4.6 – Indicadores do tema segurança classificados por fonte de dados. ....	45
Tabela 4.7 – Indicadores do tema resíduos sólidos classificados por fonte de dados. ....	45
Tabela 4.8 – Indicadores do tema telecomunicação e inovação classificados por fonte de dados. ....	46
Tabela 4.9 – Indicadores do tema transportes classificados por fonte de dados. ....	47
Tabela 4.10 – Indicadores do tema planejamento urbano classificados por fonte de dados. ....	48
Tabela 4.11 – Indicadores do tema águas residuais classificados por fonte de dados. ....	48
Tabela 4.12 – Indicadores do tema águas e saneamento classificados por fonte de dados. ....	49

## LISTA DE SIGLAS

BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided-Design</i>
CIM	<i>City Information Modeling</i>
CityGML	<i>City Geography Markup Language</i>
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
GIS	<i>Geographic Information System</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LOD	<i>Level of detail</i>
OGC	<i>Open Geospatial Consortium</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
SIG 3D	Sistema de Informação 3D
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
WCED	<i>World Commission on Environment and Development</i>
WUP	<i>World Urbanization Prospects</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
3.1	SUSTENTABILIDADE .....	14
3.1.1	Conceito .....	14
3.1.2	Desenvolvimento Sustentável .....	15
3.1.3	Construção Sustentável .....	18
3.2	PLANEJAMENTO URBANO SUSTENTÁVEL .....	18
3.2.1	ISO 37120: Desenvolvimento sustentável das comunidades – Indicadores para os serviços urbanos e a qualidade de vida .....	19
3.3	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE .....	23
3.3.1	BREAM communities .....	24
3.3.2	SBTool- Planejamento Urbano .....	25
3.3.3	Ferramenta ASUS .....	28
3.3.4	LiderA .....	29
3.4	BUILDING INFORMATION MODELING (BIM).....	31
3.5	GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS).....	33
3.6	CITY INFORMATION MODELING (CIM).....	35
3.6.1	City Geography Markup Language (CityGML) .....	37
3.6.2	Industry Foundation Classes (IFC) .....	39
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>50</b>
5.1	CONCLUSÕES .....	50
5.2	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	51
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>52</b>
	<b>APÊNDICE A – CLASSIFICAÇÃO DOS INDICADORES DA ISO 37120</b> .....	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As cidades concentram a maior parte da população mundial, das atividades econômicas e das riquezas produzidas. A alta taxa de atividade humana aliada ao modelo de ocupação urbano extensivo originaram sérios problemas de cunho ambiental e social, que implicam num déficit de eficiência e sustentabilidade e compromete a resiliência das cidades. Estes configuram um dos principais desafios dos gestores urbanos do século XXI (Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2015).

De acordo com as Perspectivas de Urbanização Mundial (*World Urbanization Prospects – WUP*) da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2018, 55% da população mundial vivia em áreas urbanas, apesar de ainda existir consideráveis diferenças nos níveis de urbanização entres os países. Em razão do contínuo processo de urbanização e do crescimento populacional, até 2050 é esperado que 68% da população mundial será urbana, representando um incremento de 2,5 bilhões de pessoas (United Nations, 2019).

O crescimento urbano não planejado ameaça o desenvolvimento sustentável, quando não são criadas as infraestruturas e políticas públicas fundamentais para assegurar que os benefícios da vida urbana sejam distribuídos de maneira equitativa a todos cidadãos. Isto, pelo fato de a urbanização estar diretamente ligada aos três pilares do desenvolvimento sustentável: desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e proteção ambiental (United Nations, 2019).

Face à crescente complexidade urbana, profissionais responsáveis pelos sistemas de infraestrutura de cidades requerem novos recursos para suprir as necessidades no planejamento, projeto, construção, gestão de equipamentos urbanos, bem como, renovação deles. Nesse contexto, tecnologias e ferramentas têm sido propostas e implementadas para atender a estas demandas, dentre elas surge o paradigma *City Information Modeling* (CIM), ou Modelagem da Informação da Cidade.

Amorim (2015) descreve que no conceito da Modelagem da Informação da Cidade (CIM) os diversos agentes envolvidos na cidade precisam atuar de forma coordenada no planejamento, no projeto, na construção, na operação, no monitoramento, na manutenção e na renovação da cidade. Estes processos se dão a partir de uma base de dados única e compartilhada, o modelo CIM. Ainda segundo ele, os dois principais atributos que caracterizariam o paradigma CIM, são, no entendimento conceitual, o trabalho colaborativo e a interoperabilidade.

Neste sentido, o presente trabalho foi elaborado durante programa de intercâmbio no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), na cidade do Porto em Portugal, durante o período de setembro de 2017 e fevereiro de 2018. Este teve como objetivo estudar e conceituar dos paradigmas Modelagem da Informação da Construção (BIM) e Modelagem da Informação da Cidade (CIM), bem como avaliar a viabilidade de implementação de ferramentas associadas ao BIM e ao CIM para atingir conceitos da sustentabilidade na gestão pública de cidades através da gestão eficiente dos recursos e serviços prestados. Para tanto, foram examinados os indicadores da Norma Internacional ISO 37120:2014 (Desenvolvimento sustentável das comunidades – Indicadores para os serviços urbanos e a qualidade de vida), em sua primeira versão publicada em 2014, e determinados quais deles podem ser respondidos com base em informações oriundas de modelos BIM e CIM.

## 2 METODOLOGIA

De acordo com Silva e Menezes (2001), uma pesquisa científica pode ser classificada a partir de diferentes parâmetros. Desta forma, a presente pesquisa é considerada:

- Do ponto de vista da sua natureza: é uma pesquisa aplicada, pois gera conhecimentos para aplicação prática;
- Do ponto de vista da forma de abordagem do problema: é uma pesquisa qualitativa, visto que o objeto de estudo não é traduzido em números;
- Do ponto de vista dos objetivos: é uma pesquisa exploratória, pois visa promover mais proximidade com o tema;
- Do ponto de vista dos procedimentos técnicos: é uma pesquisa bibliográfica, por envolver levantamento e estudo da literatura já publicada sobre o tema.

Conforme detalhado a seguir, o estudo dividiu-se em quatro etapas: revisão bibliográfica, tabelamento dos indicadores da 37120:2014, análise comparativa e classificação dos indicadores.

Inicialmente, a revisão da bibliografia levantou a produção científica delimitada pelas seguintes palavras: “sustentabilidade”, “planejamento urbano”, “métodos de avaliação da sustentabilidade”, “*Building Information Modeling (BIM)*”, “*Geographic Information Systems (GIS)*”, “*City Information Modeling (CIM)*”. Nesta etapa, foi possível compreender os conceitos que são objetos deste estudo.

Em seguida, foi realizado estudo e tabelamento dos indicadores da ISO 37120:2014 Desenvolvimento sustentável das comunidades – Indicadores para os serviços urbanos e a qualidade de vida (ABNT, 2017).

Com isso, foi feita uma análise comparativa entre os indicadores e a literatura selecionada para identificar os objetos/sistemas das edificações e da cidade que poderiam ser modelados em BIM e CIM respectivamente.

E, por fim, os indicadores da ISO 37120:2014 foram classificados com base nas possíveis fontes de dados para resposta destes: BIM, CIM ou outra fonte de dados.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Sustentabilidade

##### 3.1.1 Conceito

O termo Sustentável pode ser definido como uma característica ou condição de um processo ou sistema, que o permite manter-se constante ou estável a longo prazo. Para tanto, estes processos ou sistemas devem subsistir sem dar origem à escassez dos recursos existentes. Nesta definição, quando se refere à sociedade humana, são englobados aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais (CIB & UNEP-IETC, 2002).

O Guia ISO 82:2014 (*Guidelines for addressing sustainability in standards*, em tradução livre Guia para endereçar sustentabilidade em padrões) define que sustentabilidade abrange três dimensões interdependentes entre si e que podem se fortalecer mutuamente: econômica, ambiental e social. A esfera ambiental define os limites para o sistema social, que é constituído de indivíduos e instituições. Já a econômica, como parte do sistema social, inclui o consumo de recursos, empregos, lucros, distribuição e uso de produtos para responder às necessidades da população.

A sustentabilidade ganhou reconhecimento mundial e começou a ser discutida durante a segunda metade do século XX. Esta refere-se a presença de condições necessárias para promover suporte à vida humana em determinadas condições de bem-estar para a atual e futuras gerações. Além disso, sustentabilidade está diretamente relacionada à resiliência de um sistema humano ao longo do tempo, isto é, a capacidade de resistir ou se adequar às mudanças de cunho endógeno ou exógeno por tempo indeterminado (Sartori, F., & Campos, 2014).

A Agenda 21 para construção sustentável em países em desenvolvimento (CIB & UNEP-IETC, 2002), defende que a principal motivação para as discussões sobre sustentabilidade é assegurar a existência da espécie *homo sapiens*. Contudo, não se trata de mera sobrevivência e sim de viver em um ambiente que ofereça certa qualidade de vida, isto é, viver com segurança, saúde e produtividade em conformidade com a natureza e cultura local.

É observado que existe uma variedade de pesquisas e publicações sobre o assunto, portanto, são encontradas divergências no que tange a definição da sustentabilidade. Uma das mais notáveis discordâncias diz respeito a sustentabilidade ser vista como um objetivo final ou um processo. Para alguns autores, como (Sartori, F., & Campos, 2014), a sustentabilidade é o que se pretende alcançar e o desenvolvimento sustentável o caminho para tal.

De acordo com estudo realizado por Sartori, Latrônico e Campos (2014), no qual foi analisada a literatura a respeito da sustentabilidade, as principais características dos estudos sobre sustentabilidade compreendem, dentre outros:

- A conceituação e busca de causalidade entre as dimensões ambientais, econômicas e sociais.

De modo a permitir o fomento de políticas públicas comprometidas com a sustentabilidade é relevante o conhecimento deste aspecto, pois o desempenho ambiental implica em mudanças no desempenho financeiro. O avanço no desempenho ambiental pode levar a melhoria econômica e não obrigatoriamente ao aumento de custos.

- O desenvolvimento, uso e avaliação de indicadores e índices.

Estes simplificam e quantificam os diferentes itens a considerar na sustentabilidade, ao conceituar fenômenos e destacar tendências, assim contribuem para o compartilhamento de boas práticas. Por isso, indicadores precisam ser concebidos de forma a representar devidamente a sustentabilidade em cada região.

- A identificação de desafios.

Há certo consenso acerca dos desafios da sustentabilidade: integrar economia, ambiente e sociedade; atentar às consequências das ações do presente no futuro; sensibilização e comprometimento da sociedade.

Em resumo, sustentabilidade é o estado ou condição que permitirá a continuidade da existência da espécie *homo sapiens*, esta é a meta a ser alcançada. Devido à infinidade de mudanças na sociedade humana, não se trata de um estado fixo, mas sim um equilíbrio dinâmico no qual é necessário adaptar-se às mudanças de condições. Por este motivo, o Guia ISO 82 (ISO, 2014) reforça que a sustentabilidade é relevante desde o nível global até o nível nacional, regional, comunitário e, ainda, no âmbito dos comportamentos individuais.

O paradigma sustentabilidade, contudo, não será posto em prática se for fundamentado apenas na redução do consumo, retração econômica e diminuição de lucros. Para (RIDDELL, 2004) o segredo é aumentar investimentos e promover crescimento estruturado nos termos da sustentabilidade, isto envolve a tomada de decisões estratégicas para alcançar resultados de conservação ambiental e desenvolvimento de forma concomitante.

### 3.1.2 Desenvolvimento Sustentável

Desenvolvimento é definido como processo estabelecido para atingir avanços progressivos às condições humanas, o que envolve ações para crescimento material e realização social ao longo do tempo. Deste modo, o desenvolvimento somente é real quando este



estabelece melhora à qualidade de vida. Contudo, vale ressaltar que a ênfase no desenvolvimento através de crescimento resulta em problemas de cunho ambiental, social e, até mesmo, econômico a longo prazo. Então, uma nova problemática surge quando, nos termos da era moderna, esperam-se que os processos sejam sustentáveis, ou seja, desenvolver-se com conservação ambiental. Esta dupla é historicamente caracterizada pelo antagonismo e mútua exclusão (RIDDELL, 2004).

Iniciada por volta da década de 1970, a discussão acerca do desenvolvimento sustentável foi, dentre outros, motivada pela crise do petróleo, problemas ambientais e desigualdades sociais. Àquela altura, percebeu-se a grande dependência da matriz energética mundial em combustíveis de origem fóssil, bem como os impactos das atividades humanas sobre o ambiente (Souza, 2008)

Em 1987, o Relatório de Brundtland apresentou uma definição, que está entre as mais aceitas e reconhecidas internacionalmente, para o desenvolvimento sustentável. Segundo este, desenvolver-se de maneira sustentável significa atender às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades (BRUNTLAND, 1987). Esta definição da *World Commission on Environment and Development* (WCED), criada pela Organização das Nações Unidas e presidida pela então primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, revolucionou a discussão sobre desenvolvimento e crescimento econômico. Muito além da criação de um novo termo, foi então estabelecida uma nova forma do mundo progredir.

De acordo com o referido relatório e a Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento (CIB & UNEP-IETC, 2002), o desenvolvimento sustentável é, fundamentalmente, multidimensional e incorpora as dimensões:

- Ambiental, que visa encontrar o equilíbrio entre proteção do ambiente e seus recursos, e exploração desses recursos de um modo que o planeta tenha capacidade absorver os impactos e continuar a dar suporte a uma qualidade de vida aceitável aos seres humanos. Para tanto, se faz necessário que os países mais ricos adotem uma conduta com maior responsabilidade ecológica, como por exemplo, no seu uso de energia.

- Social, a qual requer justiça e coesão social, a fim de promover desenvolvimento humano, oportunidade de realização pessoal e qualidade de vida satisfatória à população. Assim, nações ou regiões, que possuem expressiva parcela da população em condições de pobreza, devem assegurar o acesso destes a recursos que permitam sua subsistência nas condições citadas anteriormente.

- Econômica, propõe o desenvolvimento de um sistema econômico no qual o acesso a recursos e oportunidades é facilitado e isonômico. Isto é, um sistema focado na criação de prosperidade a todos, não apenas a uma seleta e pequena camada da sociedade. Além disso, a dimensão defende a promoção de oportunidades e a justa distribuição do acesso a recursos ecológicos, o que possibilita existência de comunidades sustentáveis, estabelece atividades comerciais viáveis e indústria fundamentada em princípios éticos. Por fim, é importante que tudo isso seja alcançado da maneira mais ecológica possível e a assegurar os direitos humanos básicos.

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) de 1992 chamou a atenção do mundo às ameaças a vida na Terra, assim, a conferência também conhecida por ECO-92, destacou a necessidade de uma mobilização a nível mundial a fim de promover o desenvolvimento sustentável da humanidade. Para isto, e com a finalidade de garantir a realização dos compromissos assumidos pelas nações nessa conferência, foi elaborada a Agenda 21 (ONU, 1995).

Voltada aos problemas prioritários identificados à época de sua criação, a Agenda 21 é uma proposta de trabalho para o século XXI, que se dispõem a preparar o mundo aos desafios deste século. Para tal, adota uma abordagem equilibrada quanto à cooperação ambiental e o desenvolvimento socioeconômico. De modo que, além de um plano de trabalho, a agenda estabelece metas para o século como uma forma de transformar discursos em ações (ONU, 1995).

O Relatório de Bruntland aponta que o desenvolvimento sustentável não se trata de uma condição de equilíbrio estático e definitivo, mas sim de um processo de transformação em que exploração de recursos, mudanças institucionais, orientação de investimentos e desenvolvimento tecnológico são feitas de acordo com o futuro, ponderadas pelas necessidades presentes (BRUNTLAND, 1987)

Dada a natureza intergeracional da sustentabilidade, por exemplo, a geração atual não consegue definir completamente as necessidades das futuras gerações, e às constantes mudanças na sociedade, tal como o crescimento populacional, a sustentabilidade não pode ser descrita por um único ponto fixo. Neste aspecto, ela precisa ser definida globalmente e não uma atividade ou organização em particular.

Sartori, Latrônico e Campos (2014) complementam, ainda, que o conceito de desenvolvimento sustentável tem evoluído como algo integrador, de modo que vários aspectos inter-relacionados podem ser dispostos de forma única. Além disso, trata-se de um processo variável de mudanças que visa como objetivo final, a sustentabilidade em si.

### 3.1.3 Construção Sustentável

Desde as primeiras civilizações o ser humano ordena e modifica o ambiente para atender às suas necessidades. Assim, construía suas edificações para se abrigar, proteger e desenvolver suas atividades, buscando adequá-las às condições do ambiente, tais como, clima, topografia, insolação, ventos predominantes e vegetação. Exemplos dessa adaptação são, segundo Souza (2008), as construções executadas junto às encostas no deserto do Colorado, nos Estados Unidos. Durante o verão, quente e seco, as edificações eram sombreadas, já no inverno, devido à baixa inclinação do sol, recebiam luz solar e eram aquecidas. E ainda, ao longo da noite o calor armazenado nas rochas, por efeito de inércia térmica da envolvente, chegava ao interior do edificado, promovendo conforto térmico aos ocupantes.

Conhecida como arquitetura espontânea, típica de cada região, esse tipo de adaptação às condições climáticas, o uso apropriado dos recursos naturais, a imposição de certos critérios econômicos, bem como a concordância das soluções construtivas com questões culturais é considerada como embrião do que, hoje, entende-se por construção sustentável.

Atingir a construção sustentável é um processo holístico que direciona esforços ao fomento e manutenção da harmonia entre ambiente construído e natural. Neste caso, os princípios do desenvolvimento sustentável são aplicados ao ciclo de vida da construção, desde a extração e beneficiamento da matéria prima, passando pela concepção, planejamento, construção e operação até a desconstrução e gerenciamento dos resíduos resultantes (CIB & UNEP-IETC, 2002).

Este conceito implica em um pensamento abrangente no que tange a edificação e manutenção das suas adjacências. Assim, a perspectiva do ciclo de vida resulta na necessidade de que não só a concepção do empreendimento seja orientada ao meio ambiente, como também seus procedimentos de operação e manutenção. Além disso, é necessário que haja sintonia entre a produção sustentável dos materiais de construção e sua utilização no projeto, a qual deve responder às novas demandas regionais de cunho socioambiental (CIB & UNEP-IETC, 2002).

## 3.2 Planejamento Urbano Sustentável

Riddell (2004) propõe que o planejamento sustentável é um avanço democrático da condição humana, no qual se faz necessária a participação da sociedade no estabelecimento dos objetivos. Ainda segundo ele, o planejamento: integra o conhecimento com a ação, melhora o ambiente natural e o construído, prepara a cidade para o futuro, bem como equilibra consequências sociais, econômicas e ambientais.

Por outro lado, Sarte (2010) defende que apesar de projetistas possuírem escopos prontos, e algumas vezes imutáveis, para a criação de comunidades sustentáveis, que engloba, por exemplo, urbanismo, interação social ampliada, conservação e regeneração de recursos, e uso misto, não há uma única estratégia ou checklist para criar uma comunidade sustentável. Para tanto, faz-se necessário concentrar esforços na busca pela sinergia entre a infraestrutura, projeto, ecossistema e usuários.

De acordo com a revisão de 2019 do *World Urbanization Prospects* da Organização das Nações Unidas (United Nations, 2019), mais da metade (cerca de 55%) da população mundial em 2018 vivia em áreas urbanas. Contudo, é esperado que essa população continue a crescer e atinja a fração de dois terços (68%) do total até 2050.

Ao considerar, portanto, as projeções de crescimento da população urbana, é notada a importância da criação de assentamentos sustentáveis. Isto é, criar metrópoles, cidades e vilas que permitam a subsistência e resiliência da espécie humana ao suportar o estado de sustentabilidade e os princípios do desenvolvimento sustentável. A comunidade pode ser chamada de sustentável dependendo do nível de interação entre os seguintes aspectos (CIB & UNEP-IETC, 2002)

- Estrutura física: como a cidade se encaixa no ambiente natural e, assim, reage à topografia, à relação espacial entre as diferentes partes da cidade e ao edificado circunvizinho;
- Padrões de utilização: quais são formados pelo modo com o qual a comunidade consome recursos e quais são relatados pelas provedoras de serviços e infraestrutura;
- Padrões sociais: como as pessoas vivem, aprendem e adquirem experiência frente às oportunidades promovidas pela cidade para ir de encontro a essas necessidades;
- Padrões de operação: como as funcionalidades e a prestação de serviços são operadas e geridas.

### 3.2.1 ISO 37120:2014 Desenvolvimento sustentável das comunidades – Indicadores para os serviços urbanos e a qualidade de vida

No sentido de orientar e avaliar a gestão do desempenho dos serviços urbanos e da qualidade de vida nas cidades, a Organização Internacional de Normatização (em inglês, *International Organization for Standardization – ISO*), em sua normativa de número 37120:2014 nomeada “Desenvolvimento sustentável das comunidades — Indicadores para os serviços urbanos e a qualidade de vida”, estabelece uma abordagem holística e integrada do meio urbano, quanto ao seu desenvolvimento sustentável e resiliência. Para tanto, esta Norma

Internacional possui indicadores que imprimem uma abordagem uniforme do que é avaliado, bem como o modo com o qual os indicadores devem ser medidos (ABNT, 2017)

Estes indicadores são estruturados em torno de temas, de acordo com os setores e serviços prestados pela cidade e divididos em indicadores principais e de apoio. Os indicadores principais são considerados essenciais para orientar e avaliar o desempenho dos serviços prestados e da qualidade de vida. Já os indicadores de apoio deverão ser submetidos à Norma Internacional a fim de promover a melhor prática (ABNT, 2017). O Apêndice A lista todos os indicadores da ISO 37120:2014 classificados em seus respectivos temas.

A seguir os temas avaliados nesta Norma Internacional são listados e sucintamente descritos (ABNT, 2017)

- **Economia:** os indicadores desta seção avaliam a saúde do sistema econômico da cidade ao trazerem questões como a porcentagem da população vivendo em situação de pobreza, a taxa de emprego em tempo integral, a taxa de desemprego de jovens, o nível de atividade econômica e o índice de inovação tecnológica;

- **Educação:** os indicadores deste tema abordam as questões da oportunidade educativa, indicando quão disseminada está a educação formal na cidade entre a população em idade escolar. Além disso avalia a igualdade de gênero, a capacidade de retenção, a eficiência interna, a disponibilidade de professores, a qualidade e força do sistema educativo da cidade, bem como, o acesso ao ensino superior. A educação é vista pela Norma Internacional como uma ferramenta de redução da pobreza e desigualdade, pois fornece aos indivíduos uma base necessária à participação na força de trabalho permitindo a mobilidade social destes;

- **Energia:** neste tema, os indicadores tratam dos consumos de energia elétrica, dado que todas as formas de geração de eletricidade apresentam algum nível de impacto ambiental, do acesso legal e da confiabilidade deste serviço, tendo em vista que o serviço elétrico é um indicador que contribui para a sustentabilidade, resiliência, produtividade econômica e saúde da cidade;

- **Ambiente:** neste ponto são avaliados os poluentes particulados e gasosos dispersos na atmosfera, que são cancerígenos e prejudicam o sistema circulatório bem como o sistema respiratório. Neste caso, há ainda uma relação com questões de justiça ambiental, visto que muitas vezes os cidadãos desfavorecidos podem sofrer uma exposição mais severa aos poluentes. Os indicadores abordam também a contribuição adversa da cidade para as alterações climáticas através da emissão de gases do efeito estufa, além da poluição sonora, que imprime impactos negativos à saúde física e mental dos cidadãos, e as alterações na biodiversidade local,

que quando negativa ameaça o fornecimento de alimento e diminui as oportunidades de recreação e turismo dentre outros;

- **Finanças:** este tema mede a qualidade da gestão financeira, a saúde fiscal e o nível de dependência do município, através da porcentagem da receita destinada ao pagamento da dívida, da taxa de reinvestimento de capital, da porcentagem das receitas totais que são provenientes de fontes próprias e da cobrança de impostos como uma importante fonte de renda;

- **Resposta a incêndios e a emergências:** este é um tipo de serviço fundamental prestado pela cidade, pois implica na proteção à vida e ao patrimônio de seus habitantes e indicam nível de proteção contra incêndios e emergências. Por isso, os indicadores deste tema avaliam o número de bombeiros remunerados e voluntários, tal como os tempos de resposta do corpo de bombeiros e do serviço de socorro aos chamados, desde a ligação inicial até a chegada ao local da ocorrência;

- **Governança:** os indicadores deste tema consideram o nível de participação dos eleitores e o grau de interesse da população no governo local, a porcentagem de mulheres eleitas para cargos executivos, a equiparação de gênero na contratação da administração municipal e o número de condenações por corrupção e/ou suborno entre funcionários municipais eleitos ou contratados. Além destes aspectos, avalia-se a representatividade dos cidadãos perante assuntos discutidos e resolvidos no governo local;

- **Saúde:** neste serviço essencial é analisada a esperança média de vida da população, que reflete o nível de mortalidade global e as condições de saúde. No tocante à qualidade do sistema de saúde são avaliados os números de leitos hospitalares, médicos, enfermeiros e profissionais da saúde mental, que indicam a capacidade da prestação de serviços de saúde, a abrangência da vacinação, o alcance dos cuidados primários e a sobrevivência infantil, juvenil e materna. A mortalidade em idades inferiores a cinco anos e a taxa de suicídio também são contabilizados neste tema;

- **Recreação:** dada a importância da recreação para a vida urbana, quanto à sua contribuição à saúde das pessoas e à vitalidade da cidade, este tema avalia a disponibilidade, em metros quadrados, de espaços públicos de recreação e lazer, sejam estes ao ar livre ou não;

- **Segurança:** nesta seção analisa-se o nível geral de segurança na cidade, o efetivo policial em vigor na prevenção contra crimes, o sentimento de segurança pessoal, a quantidade de delitos penais contra a propriedade de terceiros, que afetam diretamente possíveis investimentos e incentivos. Ademais, é avaliado o quão protegidos de ameaças de segurança estão os residentes de uma cidade, através da determinação do tempo médio de resposta que um departamento de polícia demora para responder a uma chamada de socorro;

- Alojamento: este tema mede o número de pessoas a viver em alojamentos precários e inseguros, a partir da percentagem de população residente em favelas, isto é, área urbana que não possui uma ou mais das seguintes condições: alojamento durável, seguro e fora de áreas de riscos, com área habitável suficiente para os membros do núcleo familiar, acesso a saneamento básico e água potável suficiente para suprir o consumo e, por fim, proteção documental contra despejos forçados. Avalia-se também nesta seção o número de pessoas sem teto, ou seja, que não possuem uma casa para viver, e a percentagem de residências não registradas legalmente junto às autoridades municipais;

- Resíduos sólidos: este tema avalia o acesso da população à coleta de resíduos sólidos, que indica saúde pública, limpeza e qualidade de vida das pessoas na cidade, além de contribuir para a economia local, ambiente e a compreensão social. Mede também a quantidade de resíduos que é produzida, bem como a destinação final destes seja a reciclagem, disposição em aterros sanitários, incineração, queima a céu aberto ou até mesmo a eliminação em lixões e outros meios. Além disso, quanto aos resíduos perigosos, é medida a produção e a percentagem deste que é destinada à reciclagem;

- Telecomunicações e inovação: nesta seção é avaliado o acesso à informação, conectividade à tecnologia da comunicação e nível de inovação, que apresentam significativa contribuição para o crescimento e desenvolvimento econômico, pelos números de ligações à internet, ligações de telefones celulares e telefones fixos;

- Transportes: neste tema é medida a dimensão das redes de transportes públicos e ciclovias, a flexibilidade deste sistema, a facilidade de utilizar os transportes públicos e a forma urbana. Isto porque cidades com maiores quantidades de transportes públicos poderão ter tendência a ser mais compactas geograficamente e propícias ao transporte não motorizado. Ademais, faz-se a contagem do número de automóveis e motocicletas per capita, da percentagem de passageiros que utilizam um meio de transporte alternativo ao veículo pessoal, das ligações aéreas comerciais diretas e, finalmente, das fatalidades relacionadas com transportes. Esta última contagem indica a segurança global do sistema de transportes, a complexidade e congestionamento da rede de estradas, a quantidade e eficácia da aplicação de leis rodoviárias e a condição das próprias estradas;

- Planejamento urbano: este tema analisa a área de espaços verdes existente e o número de árvores plantadas anualmente, o que indica o empenho da cidade para com a sustentabilidade urbana e ambiental, bem como para o embelezamento municipal. Na vertente dos alojamentos, avalia os desafios da cidade para satisfazer as demandas e necessidades por

moradia formal. No tocante ao zoneamento urbano, os indicadores avaliam os incentivos ao desenvolvimento de zonas mistas que combinem habitação e emprego;

- **Águas residuais:** nesta seção avalia-se o acesso da população ao serviço de coleta de águas residuais, a percentagem do esgoto produzido pela cidade que não recebe tratamento, bem como as percentagens que rebem tratamento primário (separação física de sólidos suspensos do fluxo de águas residuais), tratamento secundário (remoção ou redução de contaminantes ou massas que ficaram nas águas residuais) e tratamento terciário (remoção de contaminantes persistentes, remoção de nitrogênio, fósforo e separação físico-química de impurezas). Um sistema de tratamento de águas residuais confiável é um indicador importante do nível de desenvolvimento local e da saúde da comunidade;

- **Água e saneamento:** neste último tema é avaliado o consumo doméstico e total de água per capita, o acesso da população ao serviço de abastecimento de água potável, o acesso sustentável à uma fonte de água melhorada, isto é, própria para o consumo, com disponibilidade de 20 litros por pessoa por dia e a partir de uma fonte em um raio de um quilômetro. Analise-se, ainda, o acesso ao saneamento básico, isto é, instalações de eliminação de excrementos que previna o contato de humanos, animais e insetos com os excrementos, as horas médias anuais de interrupções no abastecimento de água por núcleo familiar, tal como a percentagem de perda de água por fugas e ligações ilegais.

Devido a consistência e comparabilidade dos indicadores ao longo do tempo e de uma cidade para outra, a referida Norma Internacional permite acompanhar e monitorizar a evolução do desempenho da cidade. Ademais, além da comparação de uma gama de medidas, a ISO 37120:2014 possibilita o compartilhamento de experiências e boas práticas entre as cidades. Desta forma, colabora para o planejamento da cidade do futuro ao considerar a atual utilização dos recursos e sua eficiência (ABNT, 2017)

### **3.3 Métodos de avaliação da sustentabilidade**

A indústria da construção civil, de acordo com Severo e Sousa (2016), é considerada grande geradora de impactos ambientais. Moura e Motta (2013) vão ainda além e defendem que esse setor é o ramo da atividade com maior pegada ecológica, uma vez que, gera 25% de todo resíduo sólido, consome de 40% a 50% da energia total utilizada no mundo e extrai cerca de 30% dos recursos naturais. No âmbito das cidades não é diferente, Gomes, Barbosa e Bragança (2016) destacam que a atividade humana e a alta densidade populacional nos centros urbanos agravam as já reconhecidas ameaças ambientais. Isto faz com que apenas a avaliação



quanto a sustentabilidade do edifício não seja suficiente, sendo necessário expandi-la à escala urbana.

Serão apresentadas, a seguir, ferramentas relevantes de avaliação de sustentabilidade urbana. Estes métodos podem ser aplicados a um caso de estudo de forma individualizada ou conjunta, visto que, segundo Severo e Sousa (2016), existem fenômenos que não podem ser compreendidos em sua totalidade com a utilização de apenas uma metodologia.

### 3.3.1 BREAM communities

Lançada em 1990, a certificação BREEAM foi o primeiro método de avaliação da sustentabilidade para o ambiente construído e tem, desde então, possibilitado ao mercado decidir como otimizar a performance ambiental através do apoio à implantação de conceitos de sustentabilidade no projeto, construção e ocupação de edifícios (BRE Global Limited, 2017).

BREAM *Communities*, portanto, é um padrão de certificação independente baseado na já estabelecida metodologia BREEAM. Trata-se de uma estrutura ponderada de questões e oportunidades que afetam a sustentabilidade nos primeiros estágios de projeto de desenvolvimento. Seu escopo contempla os âmbitos ambientais, sociais e econômicos da sustentabilidade que possuem grande impacto em projetos vultuosos à escala urbana (BRE Global Limited, 2017).

De acordo com Bragança e Guimarães (2016), o sistema de avaliação dispõe de créditos que medem o desempenho do projeto quanto aos seus objetivos e políticas sustentáveis. A soma destes créditos fornece a classificação final do empreendimento. Na Tabela 3.1, a seguir, é mostrado um resumo dos principais objetivos de cada categoria do BREEAM *Communities*, bem como o número de questões avaliadas em cada uma delas.

Tabela 3.1 – Estrutura do BREEAM *Communities*.

CATEGORIA	NÚMERO DE INDICADORES	DESCRIÇÃO
Governo	4	Envolvimento da comunidade na tomada de decisões que afetam o desenvolvimento.
Bem-estar social e econômico	17	Fatores que afetam o bem-estar socioeconômico, como inclusão, coesão, habitação adequada e acesso a emprego.
Recursos e energia	7	Uso sustentável dos recursos naturais e redução das emissões de carbono.
Uso do solo e ecologia	6	Ocupação sustentável do solo e aprimoramento ecológico.
Transporte e mobilidade	6	Promoção do uso de meios de transporte sustentáveis.
Inovação	*	Reconhecimento e fomento da adoção de soluções inovadoras, que resultem em benefícios ambientais, sociais ou econômicos e que não são contempladas nas demais categorias.

\* É atribuído um crédito a cada iniciativa inovadora aprovada pela BRE Global (total de sete créditos).

Fonte: BRE Global Limited (2017).

### 3.3.2 SBTool- Planejamento Urbano

A metodologia de avaliação e certificação portuguesa da sustentabilidade do planejamento urbano, SBToolPT – Planejamento Urbano (SBToolPT-PU, 2014), apresenta aspectos transversais com métodos e práticas reconhecidos internacionalmente, nomeadamente BREEAM *Communities* e o Método Internacional SBTool. Dada sua especificidade, o SBToolPT-PU acaba por apresentar poucas similaridades com a ferramenta SBToolPT-H, para habitações, apesar de manter a abordagem de várias categorias previamente estabelecidas no método internacional análogo (BRAGANÇA & GUIMARÃES, 2016).

O SBToolPT-PU estabelece indicadores distribuídos nas dimensões ambiental, social e econômica. Esta metodologia visa, de acordo com seu Manual de Avaliação (SBToolPT-PU, 2014), aumentar a organização do espaço urbano; assegurar a preservação do meio ambiente e promover melhorias na qualidade ambiental do meio urbano; garantir a qualidade de vida da população residente nas cidades; estabelecer o dinamismo econômico no território e incentivar a certificação dos edifícios existentes.

A avaliação é aplicável à fase de projeto tanto de novas áreas urbanas quanto em requalificação e/ou regeneração de áreas já existentes. Deste modo, a certificação e avaliação podem ser realizadas em duas fases: projeto preliminar e projeto detalhado. No entanto, a

certificação somente é emitida quando concluído o projeto detalhado. Apesar disso, é importante que a avaliação seja aplicada em fase preliminar de projeto, pois a essa altura os esforços para efetuar alterações e melhorar o desempenho da sustentabilidade do empreendimento são consideravelmente menores, que na fase de projeto executivo. Ademais, destaca-se a possibilidade de estabelecer linhas estratégicas essenciais para o planejamento de cidades sustentáveis (SBToolPT-PU, 2014).

A organização da metodologia de avaliação da sustentabilidade no planejamento urbano, conforme exposto na Tabela 3.2, a seguir, é dividida em três níveis hierárquicos: dimensões, categorias e indicadores. Os indicadores são agrupados nas categorias de acordo com a área de verificação da sustentabilidade, além disso, os indicadores são classificados quanto a sua respectiva fase de aplicação no ciclo de vida do (SBToolPT-PU, 2014). Para determinar, portanto, a pontuação final do empreendimento e classificá-lo, após avaliar cada indicador soma-se dos valores individuais ponderados pelo seu respectivo peso, também apresentado na Tabela 3.2, desta maneira, cada aspecto é considerado com sua relevância a nível dos indicadores, categorias e dimensões (BRAGANÇA & GUIMARÃES, 2016).

Tabela 3.2 – Estrutura do SBToolPT–PU.

<b>DIMENSÃO (Peso)</b>	<b>CATEGORIA (Peso)</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>FASE DO CICLO DE VIDA</b>
Ambiental (50%)	Forma Urbana (20%)	I.1 Planejamento Solar Passivo	U
		I.2 Potencial de Ventilação	U
		I.3 Rede Urbana	U
	Uso do Solo e Infraestrutura (15%)	I.4 Aptidões Naturais do Solo	C; U
		I.5 Flexibilidade de Usos	C; U
		I.6 Reutilização de Solo Urbano	C
		I.7 Reabilitação do Edificado	C
		I.8 Rede de Infraestruturas Técnicas	C; U
	Ecologia e Biodiversidade (20%)	I.9 Distribuição de Espaços Verdes	U
		I.10 Conectividade de Espaços Verdes	U
		I.11 Vegetação Autóctone	C; U
		I.12 Monitorização Ambiental	U

<b>DIMENSÃO (Peso)</b>	<b>CATEGORIA (Peso)</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>FASE DO CICLO DE VIDA</b>
Ambiental (50%)	Energia (15%)	I.13 Eficiência energética	U
		I.14 Energias renováveis	U
		I.15 Gestão centralizada de energia	U
	Água (15%)	I.16 Consumo de água potável	U
		I.17 Gestão de efluentes	U
		I.18 Gestão centralizada de água	U
	Materiais e resíduos (15%)	I.19 Impacte dos materiais	C; D
		I.20 Resíduos de construção e demolição	C; D
		I.21 Gestão de resíduos sólidos urbanos	U
Social (30%)	Conforto exterior (20%)	I.22 Qualidade do ar	U
		I.23 Conforto térmico exterior	U
		I.24 Poluição acústica	U
		I.25 Poluição luminosa	U
	Segurança (10%)	I.26 Segurança nas ruas	U
		I.27 Riscos naturais e tecnológicos	U
	Amenidades (25%)	I.28 Proximidade a serviços	U
		I.29 Equipamentos de lazer	U
		I.30 Produção local de alimentos	U
	Mobilidade (25%)	I.31 Transportes públicos	U
		I.32 Acessibilidade pedestre	U
		I.33 Rede de ciclovias	U
Identidade Local e Cultural (20%)	I.34 Espaços públicos	U	
	I.35 Valorização do património	C; U	
	I.36 Integração e inclusão social	U	
Econômica (20%)	Emprego e desenvolvimento econômico (100%)	I.37 Viabilidade econômica	U
		I.38 Economia local	U
		I.39 Empregabilidade	C; U
Pontos extra (5%)	Edifícios (44%)	I.40 Edifícios sustentáveis	C; U
	Ambiente (56%)	I.41 Gestão ambiental	C; U; D

Fonte: SBToolPT-PU (2014), Bragança e Guimarães (2016).

Onde, C representa que o indicador se aplica à fase de construção, U à fase de utilização e, por fim, D indica que o item se aplica à fase de demolição do empreendimento avaliado.

### 3.3.3 Ferramenta ASUS

A Ferramenta ASUS é um instrumento de apoio ao projeto de edificações mais sustentáveis e um sistema de avaliação da sustentabilidade de edificações comerciais e institucionais. Desenvolvida pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), a metodologia de avaliação possui seu conteúdo público e gratuito, portanto, não é gerada certificação ao empreendimento. Ademais, tem como base conceitual a revisão de outras ferramentas, no empenho de adaptá-las à realidade e condições particulares do Brasil, com ênfase em prédios públicos e institucionais do estado do Espírito Santo (ALVAREZ, 2011). Além disso a avaliação de empreendimento é realizada através de uma plataforma online, o que simplifica o processo de aplicação do método.

A referida ferramenta teve como ponto de partida para seu desenvolvimento a versão de outubro de 2007 do método internacional SBTool. Souza (2008) defende que esta escolha se deu pelo fato de o SBTool ter como objetivo principal o fornecimento de uma base científica que possibilite o desenvolvimento de métodos adaptados às realidades regionais, e por ser o método que melhor abrange as diferentes áreas da sustentabilidade.

A composição linguística e estrutural da ASUS reflete uma preocupação da equipe de desenvolvimento em criar uma plataforma atraente e democrática. No que tange a organização dos indicadores da sustentabilidade, a ferramenta conta com seis temas divididos em categorias, subcategorias e, finalmente, em critérios, conforme Tabela 3.3, a seguir.

Tabela 3.3 – Estrutura da Ferramenta ASUS.

TEMA	CATEGORIA	SUBCATEGORIA	CRITÉRIOS
A. Planejamento do Empreendimento	A1. Seleção do sítio e planejamento do empreendimento		07 critérios
	A2. Inter-relação urbana e desenvolvimento do sítio		06 critérios
B. Consumo de Recursos	B1. Energia	Fontes de energia	02 critérios
		Eficiência energética	05 critérios
	B2. Materiais		01 pré-requisito 10 critérios
	B3. Água		03 pré-requisitos 03 critérios

TEMA	CATEGORIA	SUBCATEGORIA	CRITÉRIOS
C. Qualidade do ambiente interno	C1. Qualidade do ar interno		01 pré-requisito 04 critérios
	C2. Ventilação		02 critérios
	C3. Desempenho térmico		02 critérios
	C4. Conforto visual	Luz natural	03 critérios
		Luz artificial	03 critérios
C5. Conforto acústico	Isolamento	03 critérios	
	Absorção	01 critério	
D. Qualidade dos serviços	D1. Funcionalidade e flexibilidade		03 critérios
	D2. Planejamento para operação		06 critérios
E. Cargas ambientais	E1. Emissões atmosféricas		01 critério
	E2. Resíduos sólidos		03 critérios
	E3. Águas pluviais e residuais		02 critérios
	E4. Impactos no terreno e entorno		04 critérios
F. Aspectos sociais, culturais e nômicos	F1. Aspectos socioeconômicos		03 critérios
	F2. Aspectos culturais		06 critérios

Fonte: Alvarez (2011).

### 3.3.4 LiderA

O LiderA é um sistema português de avaliação voluntário da sustentabilidade do ambiente construído, que apoia o desenvolvimento sustentável e certifica os casos de desempenho comprovado. Destinado a edifícios e espaços de intervenção, o método tem como objetivo “apoiar a procura da sustentabilidade na promoção, projeto, construção e gestão da sustentabilidade dos ambientes construídos” (PINHEIRO M. D., 2011).

Sua estrutura é composta, conforme apresentado na Tabela 3.4, a seguir, de seis princípios (vertentes) de bom desempenho ambiental que contêm 22 áreas de avaliação correspondidas por 43 critérios. Os critérios partem do pressuposto que o empreendimento se encontra em conformidade com as exigências legais e consideram este estado como essencial para a avaliação segundo a metodologia LiderA. Desta forma, a busca pela sustentabilidade é encarada como melhorias nos diferentes aspectos da edificação (PINHEIRO M. D., 2011).

Tabela 3.4 – Estrutura do LiderA.

<b>VERTENTE (Peso)</b>	<b>ÁREA (Peso)</b>	<b>NÚMERO DE CRITÉRIOS</b>
Integração local (14%)	Solo (7%)	2
	Ecosistemas naturais (5%)	2
	Paisagem e patrimônio (2%)	2
Recursos (32%)	Energia (17%)	3
	Água (8%)	2
	Materiais (5%)	3
	Produção alimentar (2%)	1
Cargas ambientais (12%)	Efluentes (3%)	2
	Emissões atmosféricas (2%)	1
	Resíduos (3%)	3
	Ruído exterior (3%)	1
	Poluição luminotécnica (1%)	1
Conforto ambiental (15%)	Qualidade do ar (5%)	1
	Conforto térmico (5%)	1
	Iluminação e acústica (5%)	2
Vivência socioeconômica (19%)	Acesso para todos (5%)	3
	Diversidade econômica (4%)	3
	Amenidades e Interação social (4%)	2
	Participação e controle (4%)	4
	Custos no ciclo de vida (2%)	1
Uso sustentável (8%)	Gestão ambiental (6%)	2
	Inovação (2%)	1
<b>TOTAL</b>		<b>43</b>

Fonte: Pinheiro (2010).

Nesta metodologia, para cada tipo de utilização e critério são definidos valores de referência de desempenho. Assim, é possível classificar numericamente o empreendimento, que, posteriormente, por questões de comunicação, é traduzido em classe (de G a A+++). Sendo que a classe G descreve um desempenho muito abaixo da prática convencional (classe E). As classes C, B até A definem um nível de melhor desempenho em relação à prática usual, isto é, a classe C representa performance 25% superior à prática, B (37,5%) e A (50% ou fator 2). Já as classes A+ e A++ assentam-se em elevado nível de sustentabilidade, associando, respectivamente, fatores de melhoria quatro e dez face à situação inicial (PINHEIRO M. D., 2010).

### 3.4 *Building Information Modeling (BIM)*

Eastman *et al.* (2014) define a Modelagem da Informação da Construção (em inglês, *Building Information Modeling – BIM*) como um conceito de modelagem que visa produzir, comunicar e analisar modelos de edificações de modo coordenado. Para tanto, baseia-se na representação digital inteligente de objetos, o que permite a associação de dados, atributos e parâmetros de modo sistematizado que podem ser organizados, definidos e permutados conforme a demanda (BRÍGITTE & RUSCHEL, 2016).

Neste modelo, os dados são consistentes e livres de redundância de forma que alterações em um projeto são representadas em todas as vistas do modelo. Por consequência, prováveis problemas construtivos, como por exemplo a compatibilidade dos diversos subsistemas da edificação, podem ser apontados e sanados digitalmente, reduzindo transtornos e gastos adicionais na fase de execução (EASTMAN, 2014).

Dois principais atributos presentes no BIM, que, de acordo com Eastman *et al.* (2014), o diferenciam dos demais sistemas de Desenho Assistido por Computador (em inglês *Computer Aided-Design – CAD*) tradicionais, são a modelagem paramétrica e a interoperabilidade. A primeira representa objetos por parâmetros e regras que determinam características geométricas, bem como, algumas propriedades não geométricas. A interoperabilidade trata da capacidade de identificar os dados necessários para serem compartilhados entre aplicativos.

A Figura 3.1, a seguir, idealizada por Patrick McLeamy, mapeia o esforço demandado durante a elaboração de um projeto, desde o anteprojeto à sua execução e operação. O traçado azul indica a capacidade do projetista de realizar alterações que impactem no custo e no desempenho do empreendimento. Esta capacidade é máxima durante a concepção inicial do projeto, ou anteprojeto, e cai continuamente com a evolução dele. Já o custo da realização de alterações, representado pela linha vermelha, é baixo no início do ciclo de vida e aumenta durante sua evolução. O traço preto, por fim, ilustra onde geralmente são empenhados mais recursos pelos projetistas nos processos tradicionais de elaboração de projeto (fluxo centrado em desenho): durante a fase de documentação (Strafaci, 2008).

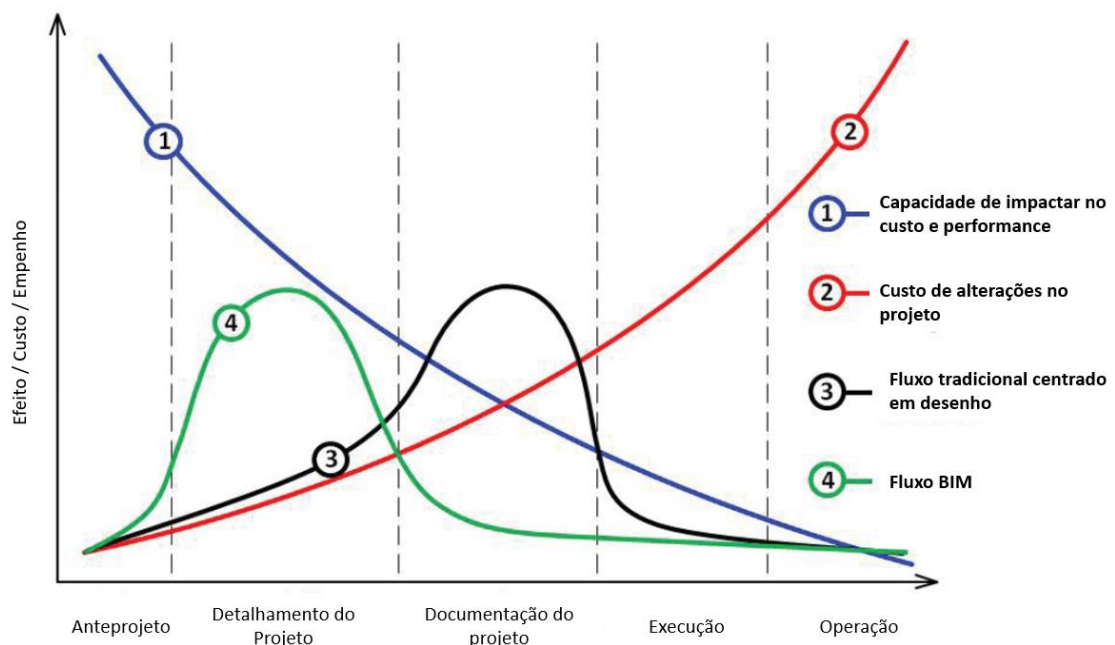
O problema com este modelo clássico de elaboração de projeto é que o pico de esforço e recursos ocorre justamente na fase em que a capacidade de o engenheiro realizar alterações no projeto está diminuindo e, em contrapartida, o custo da execução de alterações, que já é significativo, continua crescendo (Strafaci, 2008).



Em contraponto a isto, a implementação de conceitos BIM em empreendimentos civis é iniciada com a criação de uma base de informações confiáveis e coordenadas do projeto, com isso, a modelagem permite ao engenheiro prever sua performance antes mesmo deste ser executado, ao lançar mão de análises, simulações e visualizações. Com isso, o resultado é um modelo 3D inteligente do empreendimento, no qual os objetos são relacionados uns aos outros dinamicamente (Strafaci, 2008).

Deste modo, ainda de acordo com o referido autor, com o emprego do BIM, representado pela linha verde na Figura 3.1, a seguir, o maior nível de empenho é deslocado para a fase de detalhamento de projeto, onde a capacidade de impactar no custo e no desempenho do empreendimento é alta e o custo de alterações ainda é pequeno.

Figura 3.1 – Níveis de empenho durante o ciclo de vida de um projeto, tradução própria.



Fonte: Strafaci (2008).

Alizadeh, Bajgiran e Nik (2016) descrevem algumas das possíveis aplicações da modelagem BIM:

- Coordenação 3D: o modelo permite o trabalho conjunto entre engenheiros, arquitetos e, até mesmo, o proprietário, desde os estágios iniciais de concepção de projeto a operação do empreendimento;

- Planejamento e monitoramento do empreendimento: envolve a programação e sequenciamento do modelo para coordenar sua construção virtual no tempo e no espaço. A utilização da programação introduz o tempo como a 4ª dimensão;
- Visualização: a ferramenta fornece representação tridimensional da edificação, que colabora para o melhor entendimento do produto final;
- Pré-fabricação: o modelo pode gerar moldes para diversos sistemas da edificação de modo facilitado, agilizando processos produtivos;
- Estimação de custos: quantitativos de materiais podem ser obtidos e são modificados automaticamente quando qualquer alteração no projeto é realizada;
- Integração de informações entre fornecedores e empreiteiros: o modelo pode fornecer especificações do produto, detalhes da construção e procedimentos de instalação;
- Detecção de conflitos: os subsistemas podem ser checados de modo a identificar interferências ainda na fase de projeto, uma vez que se trata de um o modelo em três dimensões inteligente;
- Modelo de registro: os projetistas podem disponibilizar um modelo virtual de registro do empreendimento para o proprietário, este será um banco de dados centralizado de gerenciamento do empreendimento;
- Cronograma: a dimensão tempo ajuda na idealização do cronograma e permite observar os efeitos do planejamento correto na obra;
- Implementação e projeto: posteriormente à toda criação do modelo BIM, é possível determinar a localização de materiais e sistemas in loco. Uma vez que os componentes do modelo 3D estão vinculados ao cronograma de gerenciamento da obra.

Em resumo, o termo representa mais do que uma representação digital de características físicas e funcionais de um prédio. O BIM pode ser ainda definido como um conjunto de políticas, processos e tecnologias que criam uma metodologia para gerenciar dados essenciais do projeto em um modelo digital durante o ciclo de vida da edificação (Sompolgrunk, Banihashemi, & Mohandes, 2023).

### **3.5 Geographic Information Systems (GIS)**

McCormac, Sarasua e Davis (2016) apresentam uma definição clássica do Sistema de Informação Geográfica (SIG), em inglês *Geographic Information System (GIS)*, como: “*hardware, software e pessoas dedicadas à inserção, análise e apresentação de informações espaciais e atributos relacionados*”. No entanto, os mesmos autores declaram que definir GIS é uma tarefa um tanto quanto difícil, haja vista a abrangência e complexidade do conceito.

Ainda segundo McCormac, Sarasua e Davis (2016), o GIS permite às pessoas responderem às consultas espaciais, ou seja, as informações contidas no banco de dados estão vinculadas a certas posições sobre a superfície da Terra.

De maneira similar, Tsutiya e Além Sobinho (1999) conceituam um GIS como um sistema de gestão de base de dados, que possui a capacidade de captura, armazenamento, recuperação, análise e visualização de dados georreferenciados. Para este autor, em uma linguagem mais acessível, este sistema de informações refere-se à associação de mapas a tabelas, isto é, possui a capacidade de relacionar informações geográficas à dados alfanuméricos, além disso, são desenvolvidos de maneira otimizada conforme demanda por funções especiais.

O GIS é uma das ferramentas computacionais mais utilizadas por órgãos públicos na gestão da informação e eficaz na tomada de decisões. Seu emprego já é bem estabelecido há décadas, podendo ser considerado difundido na produção cartográfica e no gerenciamento de infraestrutura urbana (Almeida & Andrade, A integração entre BIM e GIS como ferramenta de gestão urbana., 2015).

McCormac, Sarasua e Davis (2016) justificam a difusão do emprego de GIS, tanto em órgãos públicos quanto privados, pela rápida queda nos custos de hardwares e softwares nos últimos anos. Com o aumento da capacidade de processamento e armazenamento de dados surge um número praticamente infinito de possíveis aplicações desse sistema no meio urbano.

No contexto urbano, esta tecnologia pode ser utilizada no desenvolvimento de aplicações voltadas ao planejamento, gestão, operação e manutenção de todos os sistemas urbanos. (Amorim, 2015).

Foote e Lynch (1997) alegam que o Sistema de Informação Geográfica permite aos gestores do meio urbano reunir e analisar informações de forma mais ágil do que é possível em métodos tradicionais de pesquisa. Isto porque a relação entre objetos no GIS é fundamentada em coordenadas.

O GIS disponibiliza maneiras eficazes de retenção e análise de grandes quantidades de dados, podendo proporcionar fácil acesso à informação. Desta forma, para McCormac, Sarasua e Davis (2016), reduzem-se atividades onerosas e demandam tempo como, por exemplo, registro, manipulação e pesquisa.

De acordo com o referido autor, o Sistema de Informações Geográficas (GIS) pode ser usado em três níveis, conforme a sofisticação no tratamento dos dados demandada pelo usuário:

- Gerenciamento dos dados: o nível mais simples de aplicação, o GIS é utilizado para dar entrada e armazenar dados. De modo que, o GIS é basicamente utilizado como sistema de inventário com a função de guardar e exibir atributos relativos às formas espaciais.
- Análise: no nível intermediário de emprego de GIS, o usuário usufrui das capacidades analíticas do sistema. Dentre as possibilidades, está a elaboração de mapas da rede contendo variações que indicam anormalidades em aspectos de interesse.
- Previsão: o nível mais elevado de um GIS contém a capacidade de análise e gerenciamento de dados combinados a modelagem de um fenômeno que se deseja prever.

Tsutiya e Além Sobinho (1999) apontam, por fim, que um Sistema de Informações Geográficas (GIS) tem seus dados focados em aspectos como:

- Forma: reprodução gráfica do objeto;
- Localização: posição do objeto no espaço, baseado em um sistema de coordenadas;
- Atributos: informações, dados e descrições do objeto, geralmente em tabelas;
- Topologia: característica do objeto que determina sua relação com os demais ao seu redor.

### **3.6 *City Information Modeling (CIM)***

Salles, Salati e Bragança (2023) destacam que o volume de pesquisas e publicações sobre *City Information Modeling (CIM)* apresentam movimento crescente na última década, apesar disso não há um senso comum sobre a definição do CIM. Comumente, segundo os mesmos autores, o CIM é apresentado como um conceito conectado a um modelo digital da cidade, abundante em informações geoespaciais, e com banco de dados completo e atualizado.

O paradigma CIM ou Modelagem da Informação da Cidade é considerado mais do que a fusão de todos os modelos BIM, uma vez que representa um nível superior de redes de infraestrutura, administração e atividade humana. Esta modelagem permite a visualização, análise e monitoramento do ambiente urbano, de modo a sustentar projeto e planejamento desde a esfera local a regional. A essência do CIM é, portanto, caracterizada pela integração multidisciplinar de modelos de dados espaciais.

Amorim (2015) sugere que da mesma forma que o conceito de Desenho Assistido por Computador (CAD) está contido no que se define por BIM, ou seja, o BIM faz uso de ferramentas e elementos do CAD expandindo-os para algo maior. Os conceitos de BIM estão contidos no CIM, indicando uma submissão hierárquica.

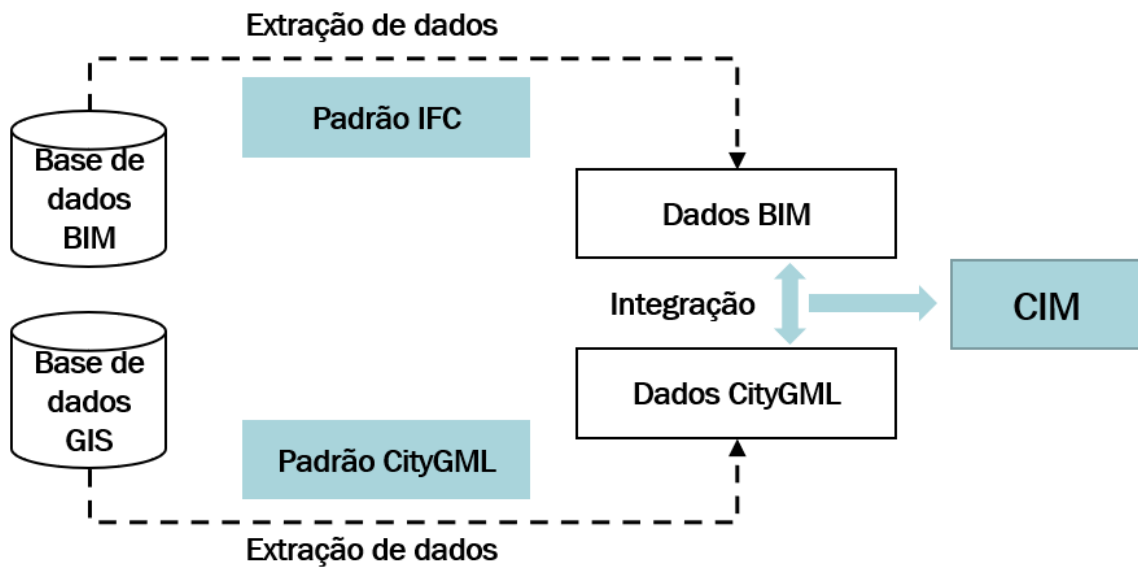
Neste sentido, Khemlani (2016) resume que o conceito do CIM se baseia em um modelo inteligente da cidade, de forma semelhante ao que existe para construções (BIM), contendo informações detalhadas sobre as entidades do modelo e suas relações. Almeida e Andrade (2018) adicionam que o CIM deve basear-se em um processo envolvente, assimilar políticas e tecnologias para permitir, às partes envolvidas, colaboração no desenvolvimento sustentável da cidade.

Diversos autores enfatizam a analogia com o BIM em urbanismo, no entanto, um dos principais aspectos ainda em aberto é o ciclo de vida no contexto CIM. Esta precisa contemplar características de todos os subsistemas de infraestrutura da cidade, mesmo que regulamentados ou operados por diferentes órgãos (Amorim, 2015).

Esta integração, no entanto, é complexa e consiste em visualizar, analisar e simular modelos BIM em um ambiente 3D de geolocalização, gerando modelos mais realísticos do mundo real. Neste sentido, é essencial a existência de uma estrutura formal de transferência de informações, para endereçar as incompatibilidades e diferenças de granularidade existente entre os sistemas (Lawal & N., 2023).

Para Amorim (2015), um ponto chave para o estabelecimento do modelo CIM, é a construção de um banco de dados único. Ao qual, a partir de protocolos de compartilhamento e troca de dados, os agentes envolvidos nos processos decisórios e operacionais têm amplo acesso. Neste âmbito, existem duas relevantes iniciativas independentes, são elas: o padrão *CityGML*, criado pelo *Open Geospatial Consortium* (OGC), e o padrão *Industry Foundation Classes* (IFC) concebido pela *buildingSMART*. A Figura 3.2, a seguir, criada por Xun, *et al.* (2014), esquematiza a interação de dados BIM e GIS através dos protocolos de compartilhamento anteriormente citados.

Figura 3.2 - Esquema de integração de dados para criar um modelo CIM, tradução própria.



Fonte: Xun, *et al.* (2014).

O *CityGML* e IFC, então, são consideradas pela literatura como a representação do embrião para futuras implementações do CIM, visto que, são materializadas por dois padrões internacionais de representação de dados urbanos no contexto de Sistemas de Informações Geográficas (GIS) e da Modelagem da Informação da Construção (BIM) (Amorim, 2015).

### 3.6.1 *City Geography Markup Language (CityGML)*

O padrão *City Geography Markup Language (CityGML)* é um modelo de dados aberto multidimensional, baseado no formato XML, para transferência e armazenamento de modelos virtuais 3D de cidades (Gröger, Kolbe, & Czerwinski, 2006). O *CityGML* foi publicado pelo *Open Geospatial Consortium (OGC)* e vem sendo desenvolvido desde 2002 pelos membros do *Special Interest Group 3D (SIG 3D)*. O SIG 3D consiste em um grupo formado inicialmente por várias companhias, municípios e instituições trabalhando juntos no desenvolvimento de um modelo 3D de visualização geográfica com possibilidade de exploração comercial. Com o passar do tempo o SIG 3D tornou-se um grupo de trabalho aberto, onde atores interessados no tema podem trabalhar juntos (SIG3D, s.d.).

Este padrão oferece ferramentas de visualização geoespaciais 3D, análises e simulações. Dentre as várias análises espaciais possíveis no *CityGML* encontra-se o mapeamento sonoro, estudos de correntes de fluxos de ar, demandas térmicas, potencial fotovoltaico, cargas e demandas em redes como elétrica, de abastecimento de água e esgotos

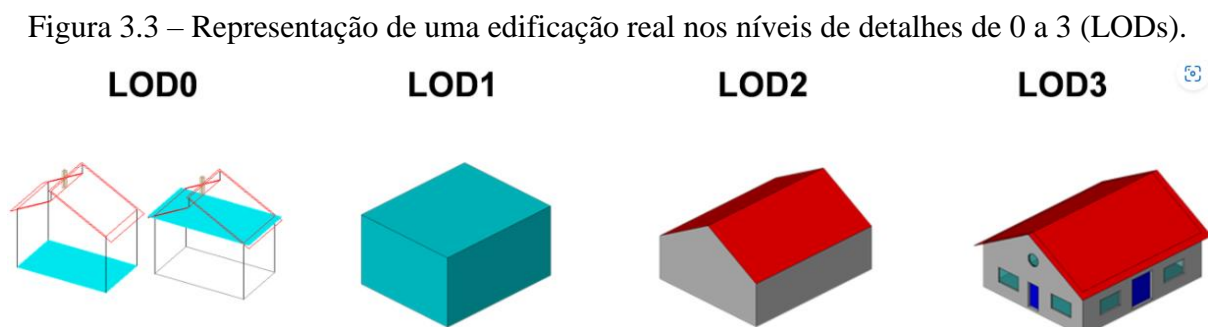
sanitários, além disso, permite a simulação de cenários de reabilitação e inserção de novas edificações no meio urbano (NOUVEL *et al.*, 2013).

O objetivo do *CityGML* é alcançar uma definição comum dos elementos, atributos e relações do modelo 3D da cidade. Neste padrão não somente aparências são representadas no modelo, mas representações semânticas e propriedades temáticas, taxonomia e agregações (Gröger, Kolbe, & Czerwinski, 2006).

O documento *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard* apresenta o detalhamento da versão mais recente deste padrão, o *CityGML 3.0* publicada em 2021. De acordo com Kolbe *et al.* (2021), este padrão suporta diferentes *Level of Detail* (LOD), em tradução livre: níveis de detalhes, onde os objetos se tornam mais detalhados com aumento do LOD com respeito a sua geometria. Assim a base de dados pode conter múltiplas geometrias para cada objeto em diferentes LODs simultaneamente. O Conceito de LOD, detalhado a seguir, facilita a modelagem multiescala para diferentes aplicações do *CityGML*.

- LOD 0: objetos reais volumétricos podem ser espacialmente representados por um único ponto, por um conjunto de curvas ou por um conjunto de superfícies. Representação de superfícies é tipicamente o resultado de projeções do formato da volumetria do objeto no plano paralelo ao solo;
- LOD 1: objetos reais volumétricos podem ser espacialmente representados pela extrusão vertical de um sólido. Por exemplo, um sólido criado a partir de uma projeção horizontal por extrusão vertical;
- LOD 2: objetos reais volumétricos podem ser espacialmente representados por um conjunto de curvas, um conjunto de superfícies ou uma única geometria sólida. Formas menores dos objetos, como por exemplo: soleiras, saliências, dentes, varandas, geralmente são negligenciados neste nível.
- LOD 3: objetos reais volumétricos podem ser espacialmente representados por um conjunto de curvas, um conjunto de superfícies ou uma única geometria sólida. Este nível é o mais alto em detalhes, incluindo todas as geometrias disponíveis das formas dos objetos.

A Figura 3.3, a seguir, ilustra os LODs para uma mesma edificação real.



Fonte: Kolbe *et al.* (2021).

Além das propriedades espaciais, características no *CityGML* podem ser atribuídas por aparência. Estas, não estão limitadas apenas a dados visuais como também podem representar propriedades arbitrárias observáveis das superfícies. Tais como, radiação infravermelha, poluição sonora ou até mesmo estresses estruturais causados por terremotos. Além do mais, os objetos contidos no modelo podem possuir referências a objetos correspondentes em base de dados externas (KOLBE *et al.*, 2021).

Modelos 3D de cidades podem oferecer uma excelente base de dados para realização de diagnósticos automatizados, que apresentam baixas taxas de erro caso as informações das edificações estiverem disponíveis e precisas (NOUVEL *et al.*, 2013). Das diversas áreas de aplicação do *CityGML* reportadas por Kolbe *et al.* (2021), destaca-se a relevância para o presente trabalho das seguintes aplicações: planejamento urbano; simulações ambientais; gestão de desastres; segurança e navegação de veículos e pedestres.

### 3.6.2 *Industry Foundation Classes (IFC)*

O *Industry Foundation Classes (IFC)* é um padrão internacional aberto para transferência de dados e compartilhamentos de modelos BIM entre *softwares* para edificações e infraestrutura civil. Este esquema foi lançado em 1997 pela *buildingSMART* e em 2013 recebeu certificação da *International Organization for Standardization (ISO)* dentro do padrão ISO 16739-1:2018 (buildingSMART, 2023a).

Conforme descrito pela *buildingSMART* (2023a), o IFC é um esquema padronizado para modelos de dados que codifica de uma forma lógica a identidade e semântica (como nome, tipo de objeto e função), características e atributos (como material, cor e propriedades térmicas), relações (incluindo localização, conexões e proprietários), objetos (como colunas e vigas), conceitos abstratos (como performance e custo), processos (como instalação e operação) e pessoas (como proprietários, projetistas, construtores e fornecedores).

Ainda segundo os criadores, o IFC é largamente utilizado atualmente para troca de informações entre os atores de uma transação comercial específica. Por exemplo: um arquiteto fornece ao proprietário um modelo de um novo empreendimento, este proprietário pode mandar o modelo para o construtor para solicitar orçamento. Este, por sua vez, envia ao fornecedor um modelo com detalhes e especificações para fabricação. Após a execução da obra, o construtor pode fornecer ao proprietário um modelo “*as-built*” para propósitos de manutenção e operação do empreendimento (buildingSMART, 2023a).



O modelo de informações IFC, que atualmente encontra-se na versão IFC4, consiste em uma biblioteca internacional de objetos e atributos que podem ser usados para representar projetos de edifícios e para obter informações com alto nível de detalhes dentro e fora das edificações. A *buildingSMART* (2023b) disponibilizou em seu website extensão IFC4.3 que visa estender a cobertura do IFC para projetos de infraestrutura linear, permitindo a utilização deste protocolo de compartilhamento em projetos de infraestrutura a escala urbana como por exemplo estradas, ferrovias, hidrovias e túneis.

Liebich *et al.* (s.d.) preconizaram que essa última atualização, chamada “*IFC Alignment*”, visa criar uma base de dados padronizados de todo ciclo de vida da infraestrutura para que, assim, obtenha-se maior eficiência no planejamento, construção e operação desta. Deste modo, cria-se um modelo de dados capaz de apresentar aspectos tanto semânticos quando geométricos, o que é necessário para permitir a troca de dados em projetos de infraestruturas lineares, como por exemplo rodovias, ferrovias, dutos, pontes e etc.

Liebich *et al.* (s.d.) identificam casos em que o IFC para infraestrutura pode ser aplicado, estes vão desde a fase de projeto à operação e manutenção. Com isso é possível observar que há potenciais contributos desde padrão para o planejamento urbano, uma vez que dispõe de informações importantes para análises, cálculos e mapeamentos em GIS, além de promover uma integração facilitada entre BIM e GIS em projetos de infraestrutura.

## 4 RESULTADOS

Os indicadores principais e de apoio da já apresentada Norma Internacional ISO 37120:2014 são essenciais para avaliar e orientar a gestão e desempenho dos serviços prestados pela cidade. Para tanto, eles são classificados em 17 temas em conformidade com os diferentes setores e serviços (ABNT, 2017).

O Apêndice A, apresenta todos os indicadores principais e de apoio da já referida Norma Internacional e os identifica conforme uma possível fonte de dados para sua avaliação. Isto é, identifica-se como “BIM” aqueles indicadores que poderiam ser avaliados a partir de dados provenientes de modelagens BIM das edificações, da mesma forma, são assinalados como “CIM” os indicadores que poderiam ser analisados com base em informações fornecidas pelo modelo CIM da cidade. Por fim, os indicadores que não poderiam ser mensurados com base em dados provenientes de modelos BIM e CIM, são identificados como “OUTRA FONTE” de outra fonte.

Neste sentido, a Tabela 4.1 resume os indicadores, destaca os temas dessa Norma Internacional e especifica o número de indicadores principais e de apoio existentes em cada um deles, bem como a quantidade de indicadores que podem possuir fonte dos dados em BIM, CIM e outras fontes.

Tabela 4.1 – Número de indicadores da ISO 37120:2014 por tema.

TEMA	INDICADORES		INDICADORES POR FONTE		
	PRINCIPAIS	DE APOIO	BIM	CIM	OUTRA FONTE
Economia	3	4	0	0	7
Educação	4	3	0	0	7
Energia	4	3	1	6	0
Ambiente	3	5	0	7	1
Finanças	1	3	0	0	4
Resposta a incêndios e a emergências	3	3	0	2	4
Governança	2	4	0	0	6
Saúde	4	3	0	0	7
Recreação	0	2	0	2	0
Segurança	2	3	0	4	1
Alojamento	1	2	0	0	3
Resíduos sólidos	3	7	3	7	0
Telecomunicações e inovação	2	1	0	2	1

TEMAS	INDICADORES		INDICADORES POR FONTE		
	PRINCIPAIS	DE APOIO	BIM	CIM	OUTRA FONTE
Transportes	4	5	0	4	5
Planejamento urbano	1	3	0	3	1
Águas residuais	5	0	0	5	0
Águas e saneamento	4	3	5	2	0
<b>TOTAL</b>	<b>46</b>	<b>54</b>	<b>9</b>	<b>44</b>	<b>47</b>

Fonte: ABNT (2017).

A seguir, cada tema, que pode ser respondido pelas modelagens virtuais BIM e CIM, é brevemente apresentado e analisado sob a óptica da aplicabilidade do BIM e do CIM na avaliação dos indicadores da Norma Internacional ISO 37120:2014 e na melhoria da gestão das cidades.

A Tabela 4.2, a seguir, apresenta os indicadores do tema energia, seção 7 da Norma Internacional ISO 37120:2014. Neste, são abordados os consumos de energia elétrica, uma vez que toda forma de produção de eletricidade gera algum tipo de impacto ambiental, o acesso da população ao referido serviço e as interrupções no seu fornecimento, que afetam diretamente a qualidade de vida dos cidadãos (ABNT, 2017).

Tabela 4.2 – Indicadores do tema energia classificados por fonte de dados.

Nº	INDICADOR	TIPO	FONTE DE DADOS
1	Utilização total de energia elétrica residencial per capita	PRINCIPAL	CIM
2	Porcentagem de população da cidade com serviço de eletricidade autorizado	PRINCIPAL	CIM
3	Consumo de energia de edifícios públicos por ano	PRINCIPAL	BIM
4	A porcentagem de energia total proveniente de fontes renováveis, como uma quota do consumo total de energia da cidade	PRINCIPAL	CIM
5	Energia elétrica total utilizada per capita	APOIO	CIM
6	Número médio de interrupções elétricas por cliente por ano	APOIO	CIM
7	Duração média das interrupções elétricas	APOIO	CIM

Fonte: ABNT (2017).

Neste sentido, um modelo CIM, que contenha a rede elétrica devidamente modelada, servirá como fonte de dados para a avaliação de seis indicadores desta seção. Isto porque esta modelagem será capaz de fornecer informações referentes à produção, transmissão e consumo de energia elétrica de maneira precisa e monitorável em tempo real. Além disso, no

tocante ao consumo elétrico por edifícios públicos, o modelo BIM pode fornecer a área útil destes edifícios.

A Tabela 4.3, a seguir, apresenta os indicadores do tema ambiente, seção 8 da Norma Internacional ISO 37120:2014. Neste, são tratadas as concentrações e emissões de poluentes na atmosfera e a poluição sonora, que geram impactos negativos na saúde e na qualidade de vida da população. Além disso, são abordadas as alterações na biodiversidade local causadas pela expansão urbana e pela atividade humana (ABNT, 2017).

Tabela 4.3 – Indicadores do tema ambiente classificados por fonte de dados.

<b>Nº</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE DE DADOS</b>
1	Concentração de partículas finas (PM2,5)	PRINCIPAL	CIM
2	Concentração de partículas (PM10)	PRINCIPAL	CIM
3	Emissões de gases com efeito de estufa em toneladas per capita	PRINCIPAL	CIM
4	Concentração de NO2 (dióxido de azoto)	APOIO	CIM
5	Concentração de SO2 (dióxido de enxofre)	APOIO	CIM
6	Concentração de O3 (Ozono)	APOIO	CIM
7	Poluição sonora	APOIO	CIM
8	Porcentagem de alteração no número de espécies autóctones	APOIO	OUTRA FONTE

Fonte: ABNT (2017).

É possível que o modelo CIM da cidade seja utilizado como fonte de dados para indicadores deste tema, pois os equipamentos de monitoramento das concentrações de poluentes atmosféricos e da poluição sonora poderão reportar diretamente ao banco de dados do CIM, isto é, alimentar o CIM continuamente com as medições da qualidade do ar. Deste modo, possibilita-se aos gestores uma visão ampla, integrada e em tempo real dos índices de qualidade do ar da cidade em diferentes localidades, além de permitir a avaliação de sete dos oito indicadores deste item da ISO 37120:2014.

A Tabela 4.4, a seguir, apresenta os indicadores do tema resposta a incêndios e emergências, seção 10 da Norma Internacional ISO 37120:2014. Neste, é avaliado o número de bombeiros remunerados e voluntários, os números de mortes em decorrência de incêndios e catástrofes naturais, bem como os tempos de respostas a chamados de emergência. Visto que, a resposta à incêndios e catástrofes constitui um serviço fundamental para a proteção da vida e do patrimônio dos cidadãos (ABNT, 2017).

Dentre as possibilidades analíticas do CIM encontra-se a criação de mapas de tempo de resposta a ocorrências de serviços de emergência e socorro, a partir da chamada inicial, que

levem em consideração diversas variáveis e obstáculos envolvidos, como por exemplo, a intensidade do trânsito, semáforos, cruzamentos, velocidade de deslocamento das vias e etc.

Tabela 4.4 – Indicadores do tema resposta a incêndios e emergências classificados por fonte de dados.

<b>Nº</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE DE DADOS</b>
1	Número de bombeiros por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
2	Número de mortes relacionadas com incêndios por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
3	Número de mortes relacionadas com catástrofes naturais por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
4	Número de bombeiros voluntários e a tempo parcial por 100 000 habitantes	APOIO	OUTRA FONTE
5	Tempo de resposta para serviços de resposta a emergências desde a chamada inicial	APOIO	CIM
6	Tempo de resposta para o corpo de bombeiros desde a chamada inicial	APOIO	CIM

Fonte: ABNT (2017).

A Tabela 4.5, a seguir, apresenta os indicadores do tema recreação, seção 13 da Norma Internacional ISO 37120:2014. Neste, analisa-se a área de espaços públicos internos e externos de recreação, dado que estes representam um importante aspecto à qualidade de vida da população, por contribuir tanto para a saúde dos cidadãos quanto para a sustentabilidade da cidade (ABNT, 2017).

Tabela 4.5 – Indicadores do tema recreação classificados por fonte de dados.

<b>Nº</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE DE DADOS</b>
1	Metros quadrados de espaços públicos de recreação interiores per capita	APOIO	CIM
2	Metros quadrados de espaços públicos de recreação exteriores per capita	APOIO	CIM

Fonte: ABNT (2017).

Conforme exposto na segunda seção do presente trabalho (REFERENCIAL TEÓRICO, item 3.6), o CIM poderá responder aos dois indicadores de recreação, posto que este modelo conterà os equipamentos urbanos modelados, em BIM, com todas suas características, de modo que poderá fornecer as áreas dos espaços de públicos de lazer.

A Tabela 4.6, a seguir, apresenta os indicadores do tema segurança, seção 14 da Norma Internacional ISO 37120:2014. Neste, são abordados os números de agentes policiais, de homicídios e de crimes contra propriedade, bem como o tempo de resposta da polícia desde

a chamada inicial. Estes aspectos refletem o sentimento de segurança pessoal e pode afetar os incentivos ao investimento (ABNT, 2017).

Tabela 4.6 – Indicadores do tema segurança classificados por fonte de dados.

<b>Nº INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE DE DADOS</b>
1 Número de agentes de polícia por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
2 Número de homicídios por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	CIM
3 Crimes contra a propriedade por 100 000 habitantes	APOIO	CIM
4 Tempo de resposta para a polícia desde a chamada inicial	APOIO	CIM
5 Taxa de crime violento por 100 000 habitantes	APOIO	CIM

Fonte: ABNT (2017).

De maneira similar ao tema “Resposta a incêndios e emergências”, o CIM permitirá a criação de mapas de tempo de atendimento a chamadas pela corporação policial. Ademais, o modelo CIM pode ser alimentado com dados dos crimes e homicídios, principalmente as localizações dos delitos, de modo que seja possível criar manchas de criminalidade pela cidade e, com isso, responder à quatro dos cinco indicadores desta seção.

A Tabela 4.7, a seguir, apresenta os indicadores do tema resíduos sólidos, seção 16 da Norma Internacional ISO 37120:2014. Neste, avalia-se o atendimento da população pela recolha regular de resíduos sólidos, as destinações finais destes resíduos, tal como a produção e reciclagem de resíduos perigosos. Isto devido a contribuição dos sistemas de resíduos sólidos para a saúde pública, economia local e ambiente (ABNT, 2017).

Tabela 4.7 – Indicadores do tema resíduos sólidos classificados por fonte de dados.

<b>Nº INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE DE DADOS</b>
1 Percentagem de população da cidade com recolha regular de resíduos sólidos	PRINCIPAL	BIM
2 Resíduos sólidos municipais totais recolhidos per capita	PRINCIPAL	BIM
3 Percentagem de resíduos sólidos da cidade que é reciclada	PRINCIPAL	CIM
4 Percentagem de resíduos sólidos da cidade que é eliminada em aterros sanitários	APOIO	CIM
5 Percentagem de resíduos sólidos da cidade que é eliminada num incinerador	APOIO	CIM
6 Percentagem de resíduos sólidos da cidade que é queimada a céu aberto	APOIO	CIM
7 Percentagem de resíduos sólidos da cidade que é eliminada numa lixeira a céu aberto	APOIO	CIM

<b>Nº INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE DE DADOS</b>
8	Porcentagem de resíduos sólidos da cidade que é eliminada por outros meios	APOIO CIM
9	Geração de resíduos perigosos per capita	APOIO BIM
10	Porcentagem de resíduos perigosos da cidade que é reciclada	APOIO CIM

Fonte: ABNT (2017).

Assim, os modelos BIM das edificações podem fornecer informações acerca da produção de resíduos sólidos pelo edificado, respondendo três indicadores do tema. Já o CIM responderá aos demais sete indicadores, ao conter os serviços de coleta e eliminação dos resíduos sólidos da cidade modelados.

A Tabela 4.8, a seguir, apresenta os indicadores do tema telecomunicação e inovação, seção 17 da Norma Internacional ISO 37120:2014. Neste, são analisados os números de ligações à internet, de celulares e de telefones fixos, visto que estes aspectos sinalizam a conectividade da cidade a nível global, o que contribui significativamente ao desenvolvimento econômico (ABNT, 2017).

Tabela 4.8 – Indicadores do tema telecomunicação e inovação classificados por fonte de dados.

<b>Nº INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE DE DADOS</b>
1	Número de ligações à internet por 100 000 habitantes	PRINCIPAL CIM
2	Número de ligações de telemóvel por 100 000 habitantes	PRINCIPAL OUTRA FONTE
3	Número de ligações de telefone fixo por 100 000 habitantes	APOIO CIM

Fonte: ABNT (2017).

Os registros de serviços de internet e telefone fixo são mantidos pelas empresas provedoras destes serviços, que poderão abastecer o banco de dados do CIM. Desta forma, quem aplicar a Norma Internacional ISO 37120:2014 deve apenas consultar o modelo CIM, não sendo necessário angariar informações com empresas para dois dos três indicadores, assim, otimiza-se o tempo de implementação dessa norma.

A Tabela 4.9, a seguir, apresenta os indicadores do tema transportes, seção 18 da Norma Internacional ISO 37120:2014. Neste, considera-se a dimensão das redes de transportes, o número de automóveis, de motocicletas, de viagens em transporte públicos e de fatalidades nos transportes e as ligações aéreas comerciais da cidade. Estes aspectos fornecem uma visão

da eficiência dos sistemas e das políticas de transportes, tráfegos, congestionamentos, usabilidade dos transportes públicos e da forma urbana (ABNT, 2017).

Tabela 4.9 – Indicadores do tema transportes classificados por fonte de dados.

<b>Nº</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE DE DADOS</b>
1	Quilómetros do sistema de transportes públicos de elevada capacidade por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	CIM
2	Quilómetros do sistema de transportes públicos de pequena capacidade por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	CIM
3	Número anual de viagens em transportes públicos per capita	PRINCIPAL	CIM
4	Número de automóveis pessoais per capita	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
5	Percentagem de passageiros habituais que utilizam um meio de transporte diferente do veículo pessoal	APOIO	OUTRA FONTE
6	Número de veículos motorizados de duas rodas per capita	APOIO	OUTRA FONTE
7	Quilómetros de ciclovias e vias dedicadas a bicicletas por 100 000 habitantes	APOIO	CIM
8	Fatalidades relacionadas com os transportes por 100 000 habitantes	APOIO	OUTRA FONTE
9	Ligações aéreas comerciais	APOIO	OUTRA FONTE

Fonte: ABNT (2017).

Conforme apresentado no REFERENCIAL TEÓRICO, item 3.6, o CIM permitirá a modelagem das infraestruturas de transporte da cidade, de maneira que a extensão das redes será uma das entregas de dados possíveis. A Norma Internacional estabelece que estas informações podem ser obtidas utilizando mapeamento informatizado. O número anual de viagens em transportes públicos poderá ser obtido através da integração dos sistemas de cobrança destes modais com o modelo CIM da cidade. Deste modo, com o CIM será possível avaliar quatro dos nove indicadores desta seção.

A Tabela 4.10, a seguir, apresenta os indicadores do tema planejamento urbano, seção 19 da Norma Internacional ISO 37120:2014. Neste, é analisada a quantidade de áreas verdes, o número de árvores plantadas, a dimensão de áreas de propriedades irregulares e/ou ilegais e a taxa emprego/habitação. Os dois primeiros aspectos estão diretamente relacionados com a melhora do clima urbano e da qualidade de vida, além da retenção de poluentes atmosféricos, já as duas questões seguintes, estão associadas ao bem-estar social, à saúde humana e ao desenvolvimento econômico (ABNT, 2017).

Neste tema, o CIM pode ser usado como fonte de dados para a avaliação de três indicadores, visto que a modelagem dos espaços verdes fornecerá suas áreas e o plantio de



árvores pode ser registrado no banco de dados do modelo CIM. A ISO 37120:2014 determina que a identificação dos estabelecimentos informais deve ser realizada com fotografias aéreas e/ou mapas de utilização do terreno e que, em seguida, as áreas devem ser calculadas com emprego de GIS. Conforme visto anteriormente, no REFERENCIAL TEÓRICO, item 3.6, ambos procedimentos poderão ser realizados na metodologia CIM de modo automatizado e simplificado.

Tabela 4.10 – Indicadores do tema planejamento urbano classificados por fonte de dados.

<b>Nº</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE DE DADOS</b>
1	Área verde por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	CIM
2	Número anual de árvores plantadas por 100 000 habitantes	APOIO	CIM
3	Dimensão da área de estabelecimentos informais como uma percentagem da área da cidade	APOIO	CIM
4	Rácio de empregos/habitação	APOIO	OUTRA FONTE

Fonte: ABNT (2017).

A Tabela 4.11, a seguir, apresenta os indicadores do tema água residuais, seção 20 da Norma Internacional ISO 37120:2014. Neste, é avaliado o acesso da população à recolha de águas residuais bem como o tratamento destas. O primeiro é indicador da saúde, limpeza e qualidade de vida de uma cidade, já o tratamento dos esgotamentos sanitários indica o nível de desenvolvimento local, saúde da comunidade e eficiência da gestão da qualidade da água (ABNT, 2017).

Tabela 4.11 – Indicadores do tema águas residuais classificados por fonte de dados.

<b>Nº</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE DE DADOS</b>
1	Percentagem de população da cidade servida por recolha de águas residuais	PRINCIPAL	CIM
2	Percentagem de águas residuais da cidade que não recebe tratamento	PRINCIPAL	CIM
3	Percentagem de águas residuais da cidade que recebe tratamento primário	PRINCIPAL	CIM
4	Percentagem de águas residuais da cidade que recebe tratamento secundário	PRINCIPAL	CIM
5	Percentagem de águas residuais da cidade que recebe tratamento terciário	PRINCIPAL	CIM

Fonte: ABNT (2017).

A modelagem BIM de um prédio residencial, por exemplo, poderá fornecer a produção estimada de esgoto com base no número de instalações produtoras de águas residuais, como bacias sanitárias, pias, chuveiros, ralos e outros.

Já a partir do modelo CIM será possível contabilizar o número de ligações à rede de esgotamento sanitário e o número de pessoas em cada unidade residencial de acordo com a sua tipologia. Com isso, o volume tratado em cada um dos três níveis de tratamento de esgoto (primário, secundário e terciário) poderá ser determinado nos modelos virtuais das estações de tratamento de águas residuárias.

Além disso, o indicador da porcentagem de águas residuais da cidade que não recebe tratamento poderá ser respondido através do confronto entre o montante de esgoto que é produzido (dado obtido no BIM das edificações e equipamentos urbanos produtores de esgotos sanitários e medidores de vazão instalados em pontos estratégicos da rede de esgoto) e o volume de águas residuais tratado.

A Tabela 4.12, a seguir, apresenta os indicadores do tema água e saneamento, seção 21 da Norma Internacional ISO 37120:2014. Neste, é considerado o acesso da população à água potável, a uma fonte de água e saneamento melhorados, bem como o consumo de água, as interrupções e perdas no abastecimento. Tais aspectos estão diretamente relacionados à saúde, qualidade de vida e ao desenvolvimento local (ABNT, 2017).

Tabela 4.12 – Indicadores do tema águas e saneamento classificados por fonte de dados.

Nº	INDICADOR	TIPO	FONTE DE DADOS
1	Porcentagem de população da cidade com serviço de abastecimento de água potável	PRINCIPAL	BIM
2	Porcentagem de população da cidade com acesso sustentável a uma fonte de água melhorada	PRINCIPAL	BIM
3	Porcentagem de população com acesso a saneamento melhorado	PRINCIPAL	BIM
4	Consumo doméstico de água total per capita	PRINCIPAL	BIM
5	Consumo de água total per capita	APOIO	BIM
6	Média de horas anuais de interrupções de abastecimento de água por agregado familiar	APOIO	CIM
7	Porcentagem de perda de água	APOIO	CIM

Fonte: ABNT (2017).

Os modelos BIM das edificações poderão responder sobre o acesso e consumo de água potável (cinco indicadores), visto que estes quantitativos pertencem a fase de operação dos edifícios. Já o modelo CIM trará dados acerca das interrupções e perdas no abastecimento de água potável (dois indicadores), visto que, uma vez modelado o sistema de distribuição de água, estes dados serão passíveis de monitoramento e análise.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusões

A partir dos estudos que compõem a presente pesquisa, concluiu-se que a existência de um modelo da informação da cidade (CIM) é fundamental para a implementação dos conceitos da sustentabilidade nas cidades. E, assim, colaborar para o cumprimento dos objetivos estabelecidos nos vários acordos internacionais sobre o controle e diminuição dos impactos da atividade humana no meio ambiente, bem como para o estabelecimento de sistemas econômicos que garantam justo acesso aos recursos e promoção do desenvolvimento humano através de sociedades justas e coesas.

Os modelos BIM e CIM permitirão, aos órgãos públicos e privados de gestão das cidades, acompanhar desenvolvimento das cidades em tempo real, com maior precisão e facilidade, através da possibilidade de se automatizar a aplicação de 53 dos 100 indicadores da Norma Internacional ISO 37120:2014. Apesar da submissão para Norma Internacional ser realizada anualmente, o gestor urbano poderá monitorar os diversos aspectos do desenvolvimento da sua cidade em intervalos menores, conforme a sazonalidade destes.

Citam-se, como exemplos, as avaliações dos indicadores de consumo de energia e de água, tal como de produção de resíduos sólidos e águas residuais, que são influenciados, dentre outros fatores, pelas variações climáticas, sendo um reflexo das estações do ano, e pelas flutuações da taxa de ocupação da cidade nos diferentes períodos do ano. Isto é, uma cidade com perfil turístico apresentará, em alta temporada, maior consumo de água e energia elétrica e conseqüentemente terá maior produção de esgotos e resíduos sólidos.

A Modelagens da Informação da Construção (BIM) e a Modelagem da Informação da Cidade (CIM) beneficiarão ainda, no que diz respeito à acurácia dos resultados submetidos à ISO 37120:2014, o compartilhamento de boas práticas entre cidades com níveis de desenvolvimento equiparável em âmbito global. Isto é, cidades consideradas comparáveis com base nos indicadores de perfil, também contidos na Norma Internacional. Desta forma, a comparação não é restrita apenas a cidades de um mesmo estado ou país.

O paradigma CIM, visto como um modelo global da cidade, será formado também pela incorporação das modelagens BIM das edificações. Deste modo, todos dados de interesse a nível de cidade estarão disponíveis e atrelados às representações georreferenciadas das edificações dentro do banco de dados do CIM. Isso significa que, será possível obter informações diretamente do modelo virtual para monitorar e avaliar o desempenho dos serviços

públicos, além de responder à ISO 37120:2014, bem como coletar informações para subsidiar tomadas de decisões mais assertivas e eficientes.

Além disso, o gerenciamento de infraestrutura urbana baseado em dados precisos e georreferenciados, permitirá maior acurácia no processo de identificação das causas raízes de diversos problemas, o que resultará em ações mais assertivas de melhoria dos subsistemas de infraestrutura urbana e conseqüentemente reduz a necessidade de manutenções corretivas, gerando economia de recursos para os municípios, bem como, melhoria na qualidade do atendimento dos serviços públicos à população.

A implantação do CIM pode ser um dos caminhos para melhorar a eficiência da gestão urbana, pois, segundo Amorim (2015), os seus conceitos “buscam a eficácia global de todos os sistemas de infraestrutura”.

## 5.2 Desenvolvimentos Futuros

Haja vista as contribuições da *Modelagem da Informação da Cidade* (CIM) para a gestão do meio urbano, no tocante à entrega de melhores serviços e qualidade de vida à população, à otimização de investimentos e à criação de políticas públicas mais assertivas. Sugere-se que estudos futuros intensifiquem as discussões e busquem explorar os pormenores deste novo paradigma, desde a fusão da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) com Sistema de Informação Geográfica (GIS), à aplicação enérgica dos protocolos de compartilhamento e representação *City Geography Markup Language* (CityGML) e *Industry Foundation Classes* (IFC).

Além disso sugere-se o desenvolvimento de rotinas de cálculo integradas aos *softwares* CIM para otimizar e padronizar a resposta aos indicadores da ISO 37120:2014, destacados neste trabalho como possível de ser respondido por modelos CIM das cidades. Caminhando para a criação de protocolos de aplicação prática do uso da Modelagem da Informação da Cidade para promover a sustentabilidade das cidades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. (2017). NBR ISO 37120 - Desenvolvimento sustentável de comunidades: Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida. ABNT NBR, Rio de Janeiro.
- Alizadeh, K. M., Bajgiran, J. S., & Nik, E. R. (2016, Março). Building Information Modeling (BIM): A study to prioritize Applications, Risks and Challenges. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, pp. p 2774-2780. Retrieved 01 13, 2024, from [https://www.researchgate.net/publication/306017805\\_Building\\_Information\\_Modeling\\_BIM\\_A\\_study\\_to\\_prioritize\\_Applications\\_Risks\\_and\\_Challenges](https://www.researchgate.net/publication/306017805_Building_Information_Modeling_BIM_A_study_to_prioritize_Applications_Risks_and_Challenges)
- Almeida, F., & Andrade, M. (2015). A integração entre BIM e GIS como ferramenta de gestão urbana. *Encontro Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção*. Porto Alegre: ANTAC.
- Almeida, F., & Andrade, M. (2018). Considerações Sobre o Conceito de City Information Modeling. *InSitu*, pp. 21-38. Retrieved Dezembro 23, 2023, from <https://revistaseletronicas.fiamfaam.br/index.php/situs/article/view/633>
- ALVAREZ, A. D. (2011). *Ferramenta ASUS: referencial teórico*. Laboratório de Planejamento e Projetos UFES, Vitória. Retrieved Abril 05, 2023, from <https://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/Referencial-Teorico.pdf>
- Amorim, A. L. (6 de 11 de 2015). Discutindo City Information Modelong e Conceitos Correlatos. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, pp. 87-99. Fonte: <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v10i2.103163>
- BRAGANÇA, L., & GUIMARÃES, E. (2016). Introducing the Portuguese Sustainability Assessment Tool for Urban Areas: SBTool PT – Urban Planning. *International Conference SBE16 Malta*.
- BRE Global Limited. (2017). BREEAM Communities technical manual SD202 – 1.2. BRE Group.
- BRÍGITTE, G. T., & RUSCHEL, R. C. (2016, Outubro). Modelo de informação da construção para o projeto baseado em desempenho: caracterização e processo. *Ambiente Construído*, 16(4), 9 - 26.
- BRUNTLAND, G. H. (1987). Our Common Future: The World Commission on Environment and Development. *Oxford University Press*, 398.
- buildingSMART. (2023a). *Industry Foundation Classes (IFC) – An Introduction*. Retrieved Dezembro 26, 2023, from buildingSMART International, Ltd.: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>
- buildingSMART. (2023b). *IFC Release Notes*. Retrieved Dezembro 26, 2023, from buildingSMART International: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/ifc-release-notes/>
- CIB & UNEP-IETC. (2002). Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: a discussion document. (C. Du Plessis, Ed.) *CSIR Boutek Report No Bow/E0204*.

EASTMAN, C. (2014). *Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores*. Porto Alegre: Bookman.

Foote, K. E., & Lynch, M. (1997). *Geographic Information Systems as an Integrating Technology: Context, Concepts, and Definitions*. Austin: Department of Geography, University of Texas. Retrieved 01 13, 2024, from <https://gisweb.massey.ac.nz/topic/webreferencesites/whatisgis/texaswhatisgis/texas/intro.htm>

Gomes, S., Barbosa, J. A., & Bragança, L. (2016, Novembro). *Avaliação da Sustentabilidade de Áreas Urbanas um Estudo de Caso. CONAMA 2016 - La respuesta es verde*.

Gröger, G., Kolbe, T., & Czerwinski, A. (2006). *Candidate OpenGIS® CityGML Implementation Specification*. Open Geospatial Consortium, Inc., Special Interest Group 3D (SIG 3D).

ISO. (2014). *Guide 82: Guidelines for addressing sustainability in standards*. Switzerland: ISO copyright office.

Khemlani, L. (2016). *City Information Modeling*. Retrieved Dezembro 15, 2023, from AECbytes: <https://www.aecbytes.com/feature/2016/CityInformationModeling.html>

Kolbe, T., Kutzner, T., Smyth, C., Nagel, C., Roensdorf, C., & Heazel, C. (2021). *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard*. Open Geospatial Consortium. Retrieved Dezembro 26, 2023, from <http://www.opengis.net/doc/IS/CityGML-1/3.0>

Lawal, O., & N., N. (2023). Blockchain and City Information Modeling (CIM): A new approach of transparency and efficiency. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Vol. 28, pp. pg. 711-734. doi:10.36680/j.itcon.2023.37

Liebich, T., Amann, J., Borrmann, A., Chipman, T., Lebegue, E., Marache, M., & Scarponcini, P. (s.d.). *IFC Alignment: Common resource for road and rail construction, bridges, tunnels*. buildingSMART International, Ltd. Retrieved Dezembro 26, 2023, from [https://syncandshare.lrz.de/download/MktrQIVFTm1CTHBLS3lNcW5MQVdz/IFC%20Rail%20Road/2016-01-19/2016-01-19\\_3\\_IFC-Alignment.pdf?inline](https://syncandshare.lrz.de/download/MktrQIVFTm1CTHBLS3lNcW5MQVdz/IFC%20Rail%20Road/2016-01-19/2016-01-19_3_IFC-Alignment.pdf?inline)

McCormac, J., Sarasua, W., & Davis, W. (2016). *Topografia* (6 ed ed.). Rio de Janeiro: LTC.

Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. (2015). *Cidades Sustentáveis 2020*. Direção-Geral do Território, Lisboa. Retrieved 01 13, 2024, from [https://www.dgterritorio.gov.pt/sites/default/files/ficheiros-cidades/cidades\\_sustentaveis2020.pdf](https://www.dgterritorio.gov.pt/sites/default/files/ficheiros-cidades/cidades_sustentaveis2020.pdf)

Moura, M., & Motta, A. L. (2013). *O Fator Energia na Construção Civil. IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão*.

Nouvel, R., Schulte, C., Eicker, U., Pietruschka, D., & Coors, V. (2013). *CityGML-Based 3D City Model For Energy Diagnostics and Urban Energy Policy Support. 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, (pp. 218-225). Chambéry. Retrieved Dezembro 26, 2023, from [https://www.academia.edu/26128958/CityGML\\_based\\_3D\\_City\\_Model\\_for\\_Energy\\_Diagnostics\\_and\\_Urban\\_Energy\\_Policy\\_Support](https://www.academia.edu/26128958/CityGML_based_3D_City_Model_for_Energy_Diagnostics_and_Urban_Energy_Policy_Support)

- ONU. (1995). Agenda 21. Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento., (p. 472). Rio de Janeiro.
- PINHEIRO, M. D. (2010). *LiderA: Sistema Voluntário para a Sustentabilidade dos Ambientes Construídos*. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- PINHEIRO, M. D. (2011). *LiderA: Sistema Voluntário para a Sustentabilidade dos Ambientes Construídos – Apresentação Sumária*. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Liboa.
- RIDDELL, R. (2004). Sustainable urban planning: tipping the balance.
- Salles, A., Salati, M., & Bragança, L. (2023). Analyzing the Feasibility of Integrating Urban Sustainability Assessment Indicators with City Information Modelling (CIM). *Applied System Innovation*. Retrieved Dezembro de 15 de, 2023, from <https://www.mdpi.com/2571-5577/6/2/45>
- Sarte, S. B. (2010). *Sustainable Infrastructure: The Guide to Green Engineering and Design*. John Wiley & Sons, Inc.
- Sartori, S., F., L., & Campos, L. (2014). Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável: Uma Taxonomia no Campo da Literatura. *Revista Ambiente & Sociedade*, vol. 16, pp. p 1-22. Retrieved 01 09, 2024, from <https://www.scielo.br/j/asoc/a/yJ9gFdvcwTxMR5hyWtRR6SL/abstract/?lang=pt#>
- SBToolPT-PU. (2014). *Manual de Avaliação: Metodologia para Planeamento Urbano*.
- Severo, E. M., & Souza, H. J. (2016, Novembro). Avaliando a Sustentabilidade das Edificações através de Ferramentas Qualitativas e Quantitativas. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*.
- SIG3D. (s.d.). *Who We Are*. Retrieved Dezembro 25, 2023, from SIG3D: <https://www.sig3d.org/en/about-sig3d.html>
- Silva, E. L., & Menezes, E. M. (2001). *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação* (Vol. 3ª ed.). Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC.
- Sompolgrunk, A., Banihashemi, S., & Mohandes, S. R. (2023). Building information modelling (BIM) and the return on investment: a systematic analysis. *Construction Innovation*, Vol. 23, pp. p. 129-154. doi:10.1108/CI-06-2021-0119
- Souza, A. D. (2008). Ferramenta ASUS: proposta preliminar para avaliação da sustentabilidade de edifícios brasileiros a partir da base conceitual da SBTool. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Strafaci, A. (2008, Outubro). What does BIM mean for civil engineers? *CE News*, pp. p. 62-65. Retrieved 01 13, 2024, from [http://images.autodesk.com/adsk/files/what\\_does\\_bim\\_mean\\_for\\_civil\\_engineers\\_ce\\_news\\_1008.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/what_does_bim_mean_for_civil_engineers_ce_news_1008.pdf)
- Tsutiya, M. T., & Além Sobrinho, P. (1999). *Coleta e transporte de esgoto sanitário* (1 ed ed.). São Paulo: Epusp/PHD.

United Nations. (2019). *World Population Prospects 2019: Highlights*. (P. D. Department of Economic and Social Affairs, Ed.) New York: United Nations. Acesso em 28 de Outubro de 2021, disponível em <https://population.un.org/wpp/Publications/>

United Nations. (2019). *World Urbanization Prospects 2018: Highlights*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. New York: United Nations. Acesso em 28 de Outubro de 2021, disponível em <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>

Xun, X., Lieyun, D., Hanbin, L., & Ling, M. (2014). From Building Information Modeling to City Information Modeling. *Journal of Information Technology in Construction*. Retrieved fevereiro 29, 2024, from <https://www.itcon.org/paper/2014/17>





### Apêndice A – Classificação dos Indicadores da ISO 37120:2014

SEÇÃO	TEMA	Nº	INDICADOR	TIPO	FONTE DE DADOS
		1	Taxa de desemprego da cidade	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		2	Valor avaliado das propriedades comerciais e industriais como uma percentagem do valor total avaliado de todas as propriedades	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
5	Economia	3	Percentagem de população da cidade a viver na pobreza	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		4	Percentagem de pessoas empregadas a tempo inteiro	APOIO	OUTRA FONTE
		5	Taxa de desemprego jovem	APOIO	OUTRA FONTE
		6	Número de negócios por 100 000 habitantes	APOIO	OUTRA FONTE
		7	Número de patentes novas por 100 000 habitantes por ano	APOIO	OUTRA FONTE
		1	Percentagem de população feminina em idade escolar matriculada em escolas	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		2	Percentagem de estudantes que completa o ensino primário: taxa de sobrevivência	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		3	Percentagem de estudantes que completa o ensino secundário: taxa de sobrevivência	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
6	Educação	4	Rácio estudante/professor no ensino primário	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		5	Percentagem de população masculina em idade escolar matriculada em escolas	APOIO	OUTRA FONTE
		6	Percentagem de população em idade escolar matriculada em escolas	APOIO	OUTRA FONTE
		7	Número de formados no ensino superior por 100 000 habitantes	APOIO	OUTRA FONTE

SEÇÃO	TEMA	Nº	INDICADOR	TIPO	FONTE DE DADOS
		1	Utilização total de energia elétrica residencial per capita	PRINCIPAL	CIM
		2	Percentagem de população da cidade com serviço de eletricidade autorizado	PRINCIPAL	CIM
		3	Consumo de energia de edifícios públicos por ano	PRINCIPAL	BIM
7	Energia	4	A percentagem de energia total proveniente de fontes renováveis, como uma quota do consumo total de energia da cidade	PRINCIPAL	CIM
		5	Energia elétrica total utilizada per capita	APOIO	CIM
		6	Número médio de interrupções elétricas por cliente por ano	APOIO	CIM
		7	Duração média das interrupções elétricas	APOIO	CIM
		1	Concentração de partículas finas (PM2,5)	PRINCIPAL	CIM
		2	Concentração de partículas (PM10)	PRINCIPAL	CIM
		3	Emissões de gases com efeito de estufa em toneladas per capita	PRINCIPAL	CIM
8	Ambiente	4	Concentração de NO2 (dióxido de azoto)	APOIO	CIM
		5	Concentração de SO2 (dióxido de enxofre)	APOIO	CIM
		6	Concentração de O3 (Ozono)	APOIO	CIM
		7	Poluição sonora	APOIO	CIM
		8	Percentagem de alteração no número de espécies autóctones	APOIO	OUTRA FONTE
		1	Rácio de serviço da dívida	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
9	Finanças	2	Despesas de capital como uma percentagem das despesas totais	APOIO	OUTRA FONTE
		3	Receita de fonte própria como uma percentagem das receitas totais	APOIO	OUTRA FONTE
		4	Impostos cobrados como uma percentagem dos impostos faturados	APOIO	OUTRA FONTE

SEÇÃO	TEMA	Nº	INDICADOR	TIPO	FONTE DE DADOS
10	Resposta a incêndios e emergências	1	Número de bombeiros por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		2	Número de mortes relacionadas com incêndios por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		3	Número de mortes relacionadas com catástrofes naturais por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		4	Número de bombeiros voluntários e a tempo parcial por 100 000 habitantes	APOIO	OUTRA FONTE
		5	Tempo de resposta para serviços de resposta a emergências desde a chamada inicial	APOIO	CIM
		6	Tempo de resposta para o corpo de bombeiros desde a chamada inicial	APOIO	CIM
11	Governança	1	Participação dos eleitores nas últimas eleições autárquicas	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		2	Mulheres como uma percentagem do total eleito para o executivo municipal	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		3	Percentagem de mulheres empregadas no pessoal da administração municipal	APOIO	OUTRA FONTE
		4	Número de condenações por corrupção e/ou suborno entre funcionários municipais por 100 000 habitantes	APOIO	OUTRA FONTE
		5	Representação dos cidadãos: número de funcionários locais eleitos para cargos por 100 000 habitantes	APOIO	OUTRA FONTE
		6	Número de eleitores registados como uma percentagem da população com idade de voto	APOIO	OUTRA FONTE

<b>SEÇÃO</b>	<b>TEMA</b>	<b>Nº</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE DE DADOS</b>
		1	Esperança média de vida	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		2	Número de camas de hospital para internamentos por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		3	Número de médicos por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
12	Saúde	4	Mortalidade em idades inferiores a cinco anos por cada 1000 nados-vivos	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		5	Número de enfermeiros e parteiras por 100 000 habitantes	APOIO	OUTRA FONTE
		6	Número de profissionais de saúde mental por 100 000 habitantes	APOIO	OUTRA FONTE
		7	Taxa de suicídio por 100 000 habitantes	APOIO	OUTRA FONTE
13	Recreação	1	Metros quadrados de espaços públicos de recreação interiores per capita	APOIO	CIM
		2	Metros quadrados de espaços públicos de recreação exteriores per capita	APOIO	CIM
		1	Número de agentes de polícia por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		2	Número de homicídios por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	CIM
14	Segurança	3	Crimes contra a propriedade por 100 000 habitantes	APOIO	CIM
		4	Tempo de resposta para a polícia desde a chamada inicial	APOIO	CIM
		5	Taxa de crime violento por 100 000 habitantes	APOIO	CIM
		1	Percentagem de população da cidade a viver em bairros de lata	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
15	Alojamento	2	Número de sem-abrigo por 100 000 habitantes	APOIO	OUTRA FONTE
		3	Percentagem de agregados familiares existente sem títulos legais registados	APOIO	OUTRA FONTE

<b>SEÇÃO</b>	<b>TEMA</b>	<b>Nº</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE DE DADOS</b>
16	Resíduos sólidos	1	Percentagem de população da cidade com recolha regular de resíduos sólidos	PRINCIPAL	BIM
		2	Resíduos sólidos municipais totais recolhidos per capita	PRINCIPAL	BIM
		3	Percentagem de resíduos sólidos da cidade que é reciclada	PRINCIPAL	CIM
		4	Percentagem de resíduos sólidos da cidade que é eliminada em aterros sanitários	APOIO	CIM
		5	Percentagem de resíduos sólidos da cidade que é eliminada num incinerador	APOIO	CIM
		6	Percentagem de resíduos sólidos da cidade que é queimada a céu aberto	APOIO	CIM
		7	Percentagem de resíduos sólidos da cidade que é eliminada numa lixeira a céu aberto	APOIO	CIM
		8	Percentagem de resíduos sólidos da cidade que é eliminada por outros meios	APOIO	CIM
		9	Geração de resíduos perigosos per capita	APOIO	BIM
		10	Percentagem de resíduos perigosos da cidade que é reciclada	APOIO	CIM
17	Telecomunicação e inovação	1	Número de ligações à internet por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	CIM
		2	Número de ligações de telefone móvel por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
		3	Número de ligações de telefone fixo por 100 000 habitantes	APOIO	CIM

SEÇÃO	TEMA	Nº	INDICADOR	TIPO	FONTE DE DADOS
		1	Quilómetros do sistema de transportes públicos de elevada capacidade por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	CIM
		2	Quilómetros do sistema de transportes públicos de pequena capacidade por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	CIM
		3	Número anual de viagens em transportes públicos per capita	PRINCIPAL	CIM
		4	Número de automóveis pessoais per capita	PRINCIPAL	OUTRA FONTE
18	Transportes	5	Percentagem de passageiros habituais que utilizam um meio de transporte diferente do veículo pessoal	APOIO	OUTRA FONTE
		6	Número de veículos motorizados de duas rodas per capita	APOIO	OUTRA FONTE
		7	Quilómetros de ciclovias e vias dedicadas a bicicletas por 100 000 habitantes	APOIO	CIM
		8	Fatalidades relacionadas com os transportes por 100 000 habitantes	APOIO	OUTRA FONTE
		9	Ligações aéreas comerciais	APOIO	OUTRA FONTE
		1	Área verde por 100 000 habitantes	PRINCIPAL	CIM
19	Planejamento urbano	2	Número anual de árvores plantadas por 100 000 habitantes	APOIO	CIM
		3	Dimensão da área de estabelecimentos informais como uma percentagem da área da cidade	APOIO	CIM
		4	Rácio de empregos/habitação	APOIO	OUTRA FONTE
		1	Percentagem de população da cidade servida por recolha de águas residuais	PRINCIPAL	CIM
		2	Percentagem de águas residuais da cidade que não recebe tratamento	PRINCIPAL	CIM
20	Água residuais	3	Percentagem de águas residuais da cidade que recebe tratamento primário	PRINCIPAL	CIM
		4	Percentagem de águas residuais da cidade que recebe tratamento secundário	PRINCIPAL	CIM
		5	Percentagem de águas residuais da cidade que recebe tratamento terciário	PRINCIPAL	CIM

<b>SEÇÃO</b>	<b>TEMA</b>	<b>Nº</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>	<b>FONTE DE DADOS</b>
		1	Percentagem de população da cidade com serviço de abastecimento de água potável	PRINCIPAL	BIM
		2	Percentagem de população da cidade com acesso sustentável a uma fonte de água melhorada	PRINCIPAL	BIM
		3	Percentagem de população com acesso a saneamento melhorado	PRINCIPAL	BIM
21	Água e saneamento	4	Consumo doméstico de água total per capita	PRINCIPAL	BIM
		5	Consumo de água total per capita	APOIO	BIM
		6	Média de horas anuais de interrupções de abastecimento de água por agregado familiar	APOIO	CIM
		7	Percentagem de perda de água	APOIO	CIM