

Digitalização e Eficiência Energética no Setor de Edificações no Brasil

Potencial para 2050: Premissas e Cenários



Imprint

Commissioned and published by:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
(GIZ) GmbH

Registered offices: Bonn and Eschborn, Germany

Project: Bilateral Energy Partnerships in Developing and
Emerging Countries

Contact: German-Brazilian Energy Partnership

SCN Quadra 01, Bloco C, Sala 1501

70711-902 Brasília – DF, Brazil

Kristina Kramer

E-mail: kristina.kramer@giz.de

Stéphanie Gomes

E-mail: stephanie.gomes@giz.de

Website: www.energypartnership.com.br

Tel.: +55 61 2101 2170

Departamento de Desenvolvimento Energético/Ministério
de Minas e Energia

Secretaria Nacional de Habitação/Ministério do
Desenvolvimento Regional

As at

30/03/2022

Design

Vaz Gontijo Consultoria, Brasilia

Edelman GmbH, Berlin

Photo credits

P. 64: © Diário do Porto

P. 66: © Union RHAC

P. 68: © Diário do Rio

Text

Growing Energy Consultoria Ltda.

Anna Carolina Peres Suzano e Silva

George Alves Soares

João Queiroz Krause

Marcos Alexandre Izidoro da Fonseca

Maria Fatima Ludovico da Gama e Souza

Myrthes Marcele Farias dos Santos

Rodrigo Flora Calili

This document was prepared within the framework of the *German-Brazilian Energy Partnership* coordinated by the Brazilian Ministry of Mines and Energy (MME) and the German Ministry of Economics and Climate Action (BMWK), and the Energy Efficiency for Sustainable Urban Development (EEDUS) project funded by the German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ). *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*, German Cooperation for Sustainable Development, is the executing agency for both.

Coordination

Kristina Kramer (GIZ)

Philipp Hoepfner (GIZ)

Stéphanie Gomes (GIZ)

Jessica Gama (GIZ)

Gabriela Kaya (GIZ)

Samira Sana Fernandes De Sousa Carmo (MME)

Alexandra Maciel (MME)

Andiara Campanhoni (MDR)

Marina Amorim Cavalcanti de Oliveira (MDR)

Amanda Alves Olalquiaga (MDR)

GIZ is responsible for the content of this publication.

On behalf of the

Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK)

Conteúdo

Glossário	5
Lista de figuras	7
Lista de quadros	8
Resumo executivo	9
Executive summary	17
1. Introdução	25
2. Cenários do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil: horizonte 2050	28
2.1. Modelo conceitual para construção de cenários	28
2.2. Questão orientadora e horizonte temporal dos cenários	29
2.3. Análise estrutural das variáveis-chave	29
2.4. Principais atores interessados e influenciadores dos cenários	33
2.5. Situação atual: Digitalização e eficiência energética no segmento de edificações no Brasil em 2021	33
2.6. Condicionantes do futuro	38
2.7. Cenários do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil no horizonte 2050	46
2.8. Análise das barreiras para implementação da digitalização no segmento de edificações no Brasil e implicações estratégicas	61
2.9. Considerações finais	67
3. Estudos de caso	68
3.1. Seleção dos estudos de caso	68
3.2. Estudo de caso 1 – Minha Casa Mais Sustentável	70
3.3. Estudo de caso 2 – AQWA Corporate	72
3.4. Estudo de caso 3 – São Paulo Corporate Towers	74
3.5. Estudo de caso 4 – Planetário da Gávea	76
3.6. Considerações finais	78

4. Recomendações	79
5. Referências	84
Apêndice 1 – Entrevistas semiestruturadas realizadas junto a especialistas ...	90
Apêndice 2 – Workshop “Digitalização e eficiência energética no segmento de edificações no Brasil: análise das barreiras e recomendações”	92
Apêndice 3 – Profissionais e instituições provedoras de informações sobre os estudos de caso	94

Glossário

°C	Grau Celsius	FGEnergia	Fundo Garantidor para Crédito a Eficiência Energética
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	FGV	Fundação Getúlio Vargas
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações	FNDCI	Fundo Nacional de Desenvolvimento de Cidades Inteligentes
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica	GEE	Gases de efeito estufa
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Condicionamento de Ar	GEM	<i>Global Entrepreneurship Monitor</i> (Monitoramento de Empreendedorismo Global)
BIM	<i>Building Information Modelling</i> (Modelagem da Informação da Construção)	GHG	<i>Greenhouse Gases</i> (Gases de Efeito Estufa)
BMS	Sistemas de Gestão Predial	GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i> (Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável)
BMWK	Ministério de Economia e Ação Climática da Alemanha	GT	Grupo de Trabalho
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social	IA	Inteligência Artificial
C&T	Ciência e Tecnologia	IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica	IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética	INI-C	Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
CIM	Comitê Interministerial sobre a Mudança do Clima	Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
CIM	Comitê de Implementação da Modernização do Setor Elétrico	IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
CO₂	Dióxido de Carbono, Gás Carbônico	IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
CONPET	Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural	kWh	Quilowatt-hora
COP21	Conferência das Partes 2021	LC/NC	<i>Low-Code/No-Code</i> (Plataforma de baixo código ou sem código)
EBC-TCP	Programa de Colaboração Tecnológica de Energia em Edificações e Comunidades	LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais
EEDUS	Eficiência Energética para o Desenvolvimento Urbano Sustentável	MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia	MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
EPE	Empresa de Pesquisa Energética	ME	Ministério da Economia
ESG	<i>Environmental, Social, and Governance</i> (Ambiental, Social e Governança)	MME	Ministério de Minas e Energia

MWh	Megawatt-hora	PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
NDC	<i>Nationally Determined Contribution</i> (Contribuição Nacionalmente Determinada)	PSQ	Programa Setorial de Qualidade
OCP	Organismos de Certificação de Produto	R\$	Reais
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade
ONU	Organização das Nações Unidas	RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico	RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
p.	página	S&T	<i>Science and Technology</i> (Ciência e Tecnologia)
P&D+I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação	Sebrae	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem	SiAC	Sistema de Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat	SiMAC	Sistema de Qualificação de Empresas de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos
PCVA	Programa Casa Verde e Amarela	SiNAT	Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais
PDEF	Plano Decenal de Eficiência Energética	tCO₂	Toneladas de CO ₂
PECS	Sistemas de Controle Ambiental Personalizados	TWh	Terawatt-hora
PEE	Programa de Eficiência Energética	UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
PIB	Produto Interno Bruto		
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida		
PNCI	Política Nacional de Cidades Inteligentes		
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima		
PPH	Pesquisa de Posses e Hábitos		
PPT	Políticas Públicas de Telecomunicações		

Lista de figuras

Figura 1 – Potencial de eficiência energética para cada cenário de digitalização, em percentual do total de 161 TWh até 2050	10
Figure 1 – Energy efficiency potential for each digitalization scenario, as a percentage of the total 161 TWh by 2050	18
Figura 2.1 – Modelo conceitual para construção de cenários do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil	29
Figura 2.2 – Matriz de influência direta das variáveis-chave dos cenários	31
Figura 2.3 – Diagrama influência-dependência das variáveis-chave	32
Figura 2.4 – Mapa dos principais atores interessados e influenciadores dos cenários	33
Figura 2.5 – Desenvolvimento tecnológico e oferta de soluções digitais no Brasil	43
Figura 2.6 – Configuração mais provável para o cenário A – Digitalização lenta	49
Figura 2.7 – Configuração mais provável para o cenário B – Digitalização moderada	50
Figura 2.8 – Configuração mais provável para o cenário C – Digitalização rápida	51
Figura 2.9 – Soluções digitais implementadas por fase do ciclo de vida no cenário A – Digitalização lenta	53
Figura 2.10 – Soluções digitais implementadas por fase do ciclo de vida no cenário B – Digitalização moderada	56
Figura 2.11 – Soluções digitais implementadas por fase do ciclo de vida no cenário C – Digitalização rápida	59
Figura 3.1 – Imagem conceito do projeto proposto para o Minha Casa Mais Sustentável	70
Figura 3.2 – Modelo geométrico do projeto proposto, contendo as zonas térmicas, as aberturas e as proteções solares da fachada principal e fundos	71
Figura 3.3 – Fotografia do AQWA Corporate	72
Figura 3.4 – Fotografia do São Paulo Corporate Towers	74
Figura 3.5 – Fotografia do Planetário da Gávea	76
Figura 3.6 – Modelos geométricos do projeto proposto e imagem da simulação CFD do Planetário da Gávea	77
Figura 3.7 – Imagens da simulação de iluminação natural do Planetário da Gávea	77

Lista de quadros

Quadro 1 – Recomendações associadas a barreiras institucionais BI1 a BI4	13
Quadro 2 – Recomendações associadas a barreiras mercadológicas e financeiras BM1 a BM7 ...	14
Quadro 3 – Recomendações associadas a barreiras técnicas BT1 a BT5	15
Quadro 4 – Recomendações associadas a barreiras comportamentais e de qualificação de mão-de-obra especializada BC1 a BC7	16
Table 1 – Recommendations associated with institutional barriers IB1 to IB4	21
Table 2 – Recommendations associated with market and financial barriers MB1 to MB7	22
Table 3 – Recommendations associated to technical barriers TB1 to TB5	23
Table 4 – Recommendations associated to behavioural and skilled workforce qualification barriers BB1 to BB7	24
Quadro 2.1 – Variáveis-chave dos cenários do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil – horizonte 2050	30
Quadro 2.2 – Incertezas críticas a serem cenzarizadas	47
Quadro 2.3 – Bases para a estimativa do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil: 2022-2050	48
Quadro 3.1 – Casos pré-selecionados, classificados por localização, tipologia e fase do ciclo de vida	69
Quadro 3.2 – Estudo de caso 1 – Minha Casa Mais Sustentável	70
Quadro 3.3 – Estudo de Caso 2 – AQWA Corporate	72
Quadro 3.4 – Estudo de caso 3 – São Paulo Corporate Towers	74
Quadro 3.5 – Estudo de Caso 4 – Planetário da Gávea	76
Quadro 4.1 – Recomendações associadas a barreiras institucionais BI1 a BI4	79
Quadro 4.2 – Recomendações associadas a barreiras mercadológicas e financeiras BM1 a BM7	81
Quadro 4.3 – Recomendações associadas a barreiras técnicas BT1 a BT5	82
Quadro 4.4 – Recomendações associadas a barreiras comportamentais e de qualificação de mão-de-obra especializada BC1 a BC7	83

Resumo executivo

O segmento de edificações responde por cerca de 1/6 do consumo de energia e 50% do consumo de eletricidade no Brasil. Trata-se de um segmento complexo com diversos atores e de grande importância econômica para o país. Atualmente ainda é baixo o grau de digitalização neste segmento, especialmente em função dos altos custos de investimento e da dificuldade de se estimar os benefícios proporcionados pelas tecnologias digitais.

Soluções digitais em edificações vêm sendo aplicadas fundamentalmente nas edificações comerciais e de serviços de perfil corporativo. A contribuição potencial da digitalização para o aumento da eficiência energética no segmento de edificações no Brasil é apontada como relevante no contexto setorial em horizontes de médio e longo prazo.

Visando contribuir para o debate sobre as possíveis trajetórias evolutivas dos condicionantes da digitalização no segmento de edificações no médio e longo prazo e subsidiar a formulação ou revisão de políticas públicas, decisões e ações do presente, foram construídos três cenários prospectivos referentes ao potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil, no horizonte 2050. Como principal resultado deste estudo prospectivo, os cenários traçaram caminhos para futuros alternativos da digitalização, preconizada segundo três ritmos de implementação – lenta, moderada ou rápida. Em síntese, os três cenários são:

Cenário A – Digitalização lenta: A digitalização no segmento de edificações no Brasil ocorre em ritmo lento, com indução pelo Estado limitada a edificações públicas. Políticas públicas habitacionais enfatizam as habitações de interesse social (HIS). O uso de soluções digitais em HIS e o aumento potencial de eficiência energética são considerados aspectos de menor relevância face à necessidade premente de redução do déficit habitacional.

A adoção de algumas soluções digitais, implementadas nas fases de projeto, construção, operação e reforma das edificações, ocorre de forma autônoma, seguindo a evolução natural do mercado dessas tecnologias no país. O mapeamento da implementação dessas soluções por fase do ciclo de vida neste cenário pode ser visualizado na Figura 2.9.

Em consequência do ritmo lento da digitalização no segmento, o potencial de eficiência energética é baixo, situando-se em níveis inferiores a 10% do total de 161 TWh até 2050¹, comparável ao consumo anual de eletricidade de até cerca de 840 mil domicílios², e equivalendo a emissões evitadas³ da ordem de 200 mil tCO₂.

Cenário B – Digitalização moderada: A digitalização no segmento de edificações no Brasil é implementada em ritmo moderado, sendo induzida pelo Estado em edificações públicas, comerciais e de serviços, mediante instrumentos regulatórios de digitalização e de eficiência energética. Políticas públicas habitacionais incluem mecanismos voltados para o aumento de eficiência energética e da digitalização em habitações de interesse social, com ênfase em tecnologias digitais de aplicação transversal. Soluções digitais são implementadas em todas as fases do ciclo de vida das edificações, com a participação crescente de investimentos privados.

¹ No cenário “Desafio da expansão” do Plano Nacional de Energia 2050, estima-se um potencial de eficiência energética de 321 TWh no Brasil, que corresponde a 17% do consumo total de energia elétrica no horizonte considerado (2050). Dado que o segmento de edificações é responsável hoje por cerca de 50% do consumo total de energia elétrica no Brasil, estima-se que o potencial de eficiência energética no segmento de edificações seja cerca de 161 TWh até 2050. As bases para a estimativa do percentual do potencial de eficiência energética no cenário de digitalização lenta encontram-se descritas no Capítulo 2 (seção 2.7 – item 2.7.3).

² Calculado com base nos consumos médios mensais de eletricidade por domicílio apresentados na Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial de 2019 [75] (ver seção 2.7 – item 2.7.3).

³ Calculado a partir do fator de emissão médio de CO₂ equivalente disponibilizado no site do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações para o ano de 2021 [76]. Esse fator tem como objetivo estimar a emissão de CO₂ equivalente associada a uma geração de energia elétrica determinada (seção 2.7 – item 2.7.3).

O mapeamento da implementação dessas soluções por fase do ciclo de vida neste cenário pode ser visualizado na Figura 2.10.

O potencial de eficiência energética decorrente da digitalização moderada atinge patamares de 20 a 30% do total de 161 TWh até 2050⁴, comparável ao consumo anual de eletricidade de até cerca de 2.520 mil domicílios⁵, e equivalendo a emissões evitadas⁶ da ordem de 610 mil tCO₂.

Cenário C – Digitalização rápida: A digitalização no segmento de edificações é implementada em ritmo rápido no país, sendo fortemente induzida pelo Estado, com ampla participação de investimentos privados e adoção acelerada de tecnologias digitais. Abrange todas as tipologias de edificações, em função da efetiva integração entre os diversos mecanismos institucionais e regulatórios voltados para digitalização, eficiência energética e habitação.

Muitas soluções digitais disponíveis comercialmente são adotadas em todas as fases do ciclo de vida das edificações já na primeira década. Com a rápida digitalização no segmento de edificações, observa-se a massificação do uso das tecnologias digitais, impulsionada pelo crescimento econômico do país, aumento de investimentos públicos e privados e integração de políticas públicas e instrumentos voltados para eficiência energética, habitação e digitalização. As soluções digitais disponíveis comercialmente são adotadas em todas as fases do ciclo de vida das edificações desde a primeira década. O mapeamento da implementação dessas soluções por fase do ciclo de vida neste cenário pode ser visualizado na Figura 2.11.

O potencial de eficiência energética, decorrente da digitalização rápida, atinge níveis de 30 a 40% do total de 161 TWh até 2050⁷, comparável ao consumo anual de eletricidade de até cerca de 3.360 mil domicílios⁸, e equivalendo a emissões evitadas⁹ da ordem de 815 mil tCO₂.

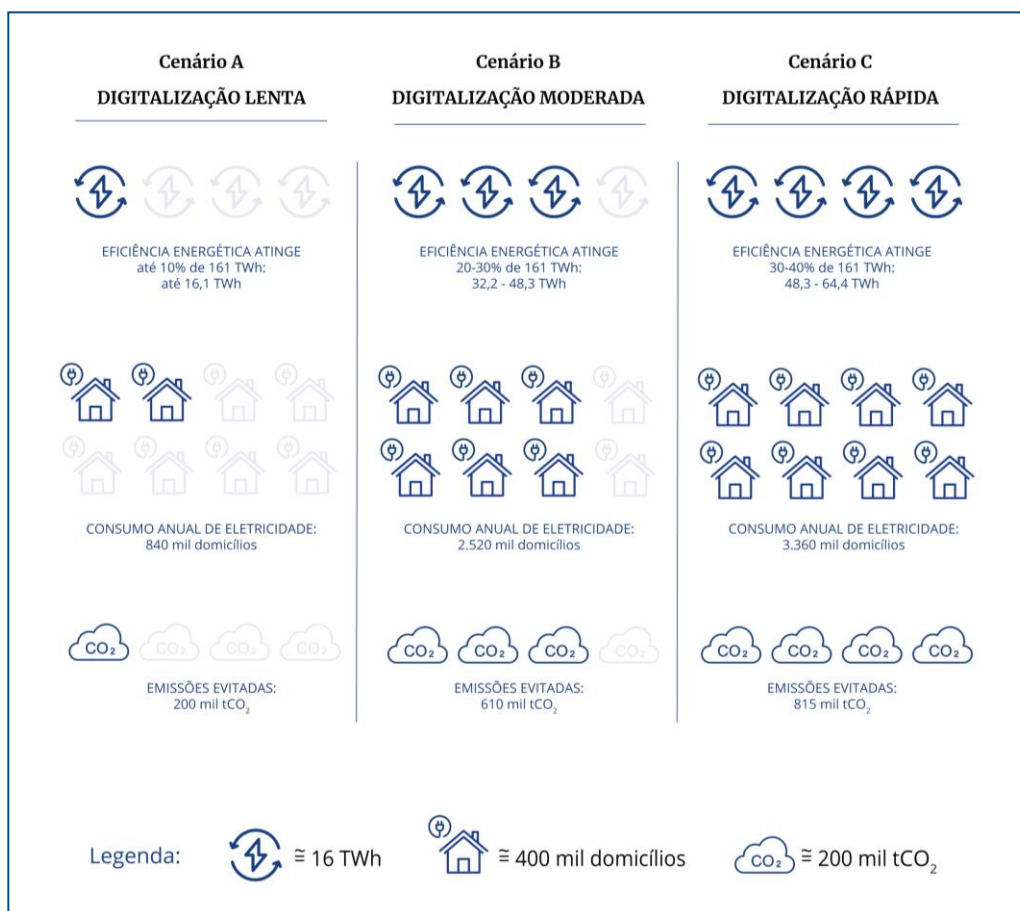


Figura 1 – Potencial de eficiência energética para cada cenário de digitalização, em percentual do total de 161 TWh até 2050. Fonte: Elaboração própria.

⁴ Ver nota 1. As bases para a estimativa do percentual do potencial de eficiência energética no cenário de digitalização moderada encontram-se descritas no Capítulo 2 (seção 2.7 – item 2.7.3).

⁵ Ver nota 2 (seção 2.7 – item 2.7.3).

⁶ Ver nota 3 (seção 2.7 – item 2.7.3).

Atores, interessados e influenciadores dos cenários de digitalização no segmento de edificações

Buscou-se compreender a potência dos atores interessados e influenciadores sobre a questão em foco, pela sua atuação e influência sobre as variáveis-chave, particularmente as variáveis determinantes ou forças-motrizes da evolução da digitalização no segmento de edificações no Brasil, no horizonte de 2050. Os resultados desta análise indicaram que o Ministério de Minas e Energia (MME), o Ministério da Economia (ME) e o Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR) constituem os mais importantes atores pela sua grande capacidade de influenciar o aumento da eficiência energética no segmento de edificações, decorrente da digitalização neste segmento.

Em um segundo patamar, situam-se as agências reguladoras (ANATEL e ANEEL), os agentes financeiros (BNDES, Caixa Econômica, bancos públicos e privados) e órgãos da Administração Pública Municipal. As empresas da cadeia produtiva do segmento de edificações também possuem uma posição destacada na hierarquia, especialmente as construtoras e incorporadoras, os escritórios de arquitetura, engenharia e serviços de consultoria, bem como as administradoras prediais e os fornecedores de materiais e de equipamentos eletroeletrônicos.

Não menos importantes na hierarquia são os atores que atuam em variáveis-chave de ligação, como:

- i. Órgãos de normalização e certificação atuando na variável “Normalização técnica e regulamentação aplicável à digitalização no segmento de edificações”;
- ii. Universidades, escolas técnicas, centros de pesquisa, startups e aceleradoras influenciando a evolução da variável “Capacitação multinível em soluções digitais para profissionais do segmento de edificações”;
- iii. Organizações do terceiro setor com interesse em eficiência energética e digitalização, influenciando o comportamento dos usuários das edificações;
- iv. Os usuários, pelo componente da conscientização quanto à eficiência energética e os benefícios do emprego de soluções digitais em seu dia-a-dia.

Condicionantes da digitalização no segmento de edificações

A identificação e classificação das variáveis-chave pela análise estrutural permitiu que fossem analisados e selecionados os condicionantes do futuro, ou seja, aqueles fenômenos relevantes que moldarão a evolução dos cenários mais prováveis do potencial de eficiência energética de edificações no Brasil, decorrente da digitalização no segmento em foco.

Com base na análise da situação atual (2021), na experiência da equipe e nos resultados das entrevistas semiestruturadas conduzidas junto a especialistas (Apêndice 1), foram identificados 22 condicionantes do futuro, sendo onze condicionantes político-regulatórios e onze não regulatórios (Capítulo 2 – seção 2.6). A título de ilustração, citam-se:

- i. Integração das políticas públicas e mecanismos de eficiência energética e continuidade do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica);
- ii. Implementação da Política Nacional de Mudança do Clima (PNMC) e da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC);
- iii. Revisão do Plano Nacional de Habitação com vigência esperada até 2040 (PlanHab 2040);
- iv. Implementação da Estratégia Nacional de Disseminação de BIM no Brasil;
- v. Desenvolvimento tecnológico e oferta das soluções digitais no país.

Estudos de casos comprovam aumento da eficiência energética decorrente da digitalização

Em complementação aos cenários, o impacto das soluções digitais no aumento da eficiência energética foi avaliado a partir da análise de quatro estudos de caso de digitalização em edificações de diferentes tipologias e em fases distintas do ciclo de vida, a saber:

- i. Minha Casa + Sustentável (Rio de Janeiro – RJ) – fase de projeto;
- ii. AQWA Corporate (Rio de Janeiro – RJ) – fases de projeto e operação;
- iii. São Paulo Corporate Towers (São Paulo – SP) – fases de projeto e operação;
- iv. Planetário da Gávea (Rio de Janeiro – RJ) – fases de reforma e operação.

A pesquisa e análise de casos de adoção de soluções digitais em edificações no Brasil mostram que, mesmo havendo exemplos importantes, o grau de digitalização em edificações no Brasil ainda é baixo, frente à quantidade de empreendimentos em território nacional. Percebe-se ainda que as informações associadas aos casos não são adequadamente computadas e divulgadas, incorrendo na dificuldade de obtenção de dados de economia de energia ou de segregar os valores de eficiência energética oriundos das medidas de melhoria derivadas de digitalização (notadamente aquelas implantadas desde a origem da edificação, por falta de parâmetros bem definidos).

⁷ Ver nota 1. As bases para a estimativa do percentual do potencial de eficiência energética no cenário de digitalização rápida encontram-se descritas no Capítulo 2 (seção 2.7 – item 2.7.3).

⁸ Ver nota 2 (seção 2.7 – item 2.7.3).

⁹ Ver nota 3 (seção 2.7 – item 2.7.3).

Barreiras à digitalização, implicações estratégicas e recomendações

Ao final do Capítulo 2, apresentam-se os resultados da análise das barreiras para implementação da digitalização no segmento de edificações no Brasil e implicações estratégicas. Com base em análise documental e entrevistas semiestruturadas conduzidas junto a especialistas no decorrer do mês de novembro de 2021 (Apêndice 1), a equipe identificou um conjunto de barreiras, que foram posteriormente classificadas em quatro agrupamentos, como listados a seguir.

Barreiras institucionais (BI)

- Implementação das diversas políticas públicas setoriais de forma descoordenada, sem sinergia entre os órgãos competentes (BI1);
- Retração dos investimentos em CT&I com impacto na digitalização de setores da economia (BI2);
- Processos de normalização e regulamentação não acompanham o ritmo de evolução das tecnologias digitais (BI3);
- Parte dos representantes do segmento de edificações no Brasil resistem a normas e regulamentos e suas aplicações (BI4).

Barreiras mercadológicas e financeiras (BM)

- Inexistência de linhas de crédito específicas para a implementação de soluções digitais nas edificações (BM1);
- Custos altos iniciais da adoção de soluções tecnológicas em edificações por pioneiros (BM2);
- Baixo poder aquisitivo de usuários de algumas tipologias para adoção das soluções digitais (BM3);
- Baixa disponibilidade de informação sobre o potencial e custos das oportunidades de eficiência energética (BM4);
- Custos de oportunidade (necessidade de reformas) não aproveitados para reformas com foco em eficiência energética e digitalização (BM5);
- Impacto dos custos de implementação da digitalização em Habitações de Interesse Social (HIS) (BM6);
- Falta de definição precisa de papéis e responsabilidades em relação ao uso e garantia de equipamentos incorporados à edificação (BM7).

Barreiras técnicas (BT)

- Interfaces não amigáveis dificultando a adoção das soluções digitais (BT1);
- Falta de infraestrutura de internet para disponibilizar acesso amplo e de qualidade para o fomento da digitalização em edificações (BT2);
- Estágio embrionário no país da padronização de processos, materiais e equipamentos no segmento de edificações (BT3); insegurança cibernética (BT4);
- Adoção da digitalização em residências e pequenos comércios/serviços existentes, por requerer obras civis, pode inviabilizar sua implementação (BT5).

Barreiras comportamentais e de qualificação de mão-de-obra especializada (BC)

- Resistência do setor de construção civil a novas tecnologias digitais em edificações (BC1);
- Baixa confiança do usuário em relação aos benefícios da adoção das soluções digitais e segurança cibernética (BC2);
- Cultura de eficiência energética na sociedade brasileira (BC3);
- Grades curriculares defasadas em cursos profissionalizantes e no ensino superior em relação aos temas digitalização e eficiência energética (BC4);
- Baixa oferta de educação profissional e treinamento em digitalização de edificações (BC5);
- Mudanças tecnológicas rápidas dificultam o mercado a se manter atualizado (BC6);
- *Greenwashing* de edificações (BC7).

Buscando-se contribuir para a formulação de políticas públicas e ações direcionadas à digitalização e eficiência energética no segmento de edificações no Brasil e reduzir riscos em processos decisórios, tanto na esfera pública, quanto privada, propõe-se no Capítulo 4 um conjunto de recomendações associadas às barreiras institucionais (BI); mercadológicas e financeiras (BM); técnicas (BT); e comportamentais e de qualificação de mão-de-obra especializada (BC) (Quadros 1 a 4).

Quadro 1 – Recomendações associadas a barreiras institucionais B11 a B14. Fonte: Elaboração própria.

Recomendação	Barreira
<p>RB11 – Revisar o marco institucional relativo à eficiência energética:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer governança que garanta a coordenação entre diversas políticas setoriais (habitação, transporte, CT&I, educação, meio ambiente, saúde, indústria, energia, etc.); • Estabelecer e publicar agenda de longo prazo de aplicação de recursos de programas como, por exemplo, PROCEL e PEE/ANEEL, porém não restrito a esses em um contexto de maior coordenação institucional e integração das iniciativas de eficiência energética; • Reforçar a atuação do MME e MDR na coordenação setorial de políticas voltadas ao fomento à eficiência energética no segmento de edificações. 	B11
<p>RB12 – Elaborar um plano conjunto com participação de órgãos governamentais, instituições públicas, privadas e do terceiro setor para promover a digitalização no segmento de edificações, na perspectiva de explorar sinergias e integrar instrumentos de política sob o controle de diferentes órgãos.</p>	B11
<p>RB13 – Criar fundos público-privados de apoio à inovação, na modalidade de fundos não reembolsáveis para pesquisa colaborativa, financiamento coletivo (<i>crowdfunding</i>), financiamento coletivo turbinado (<i>matchfunding</i>), fundos patrimoniais, entre outros.</p>	B12
<p>RB14 – Desenvolver programas/serviços em nichos com maior espaço para o desenvolvimento tecnológico nacional, com foco em soluções digitais para a eficiência energética em edificações (<i>mission-oriented</i>).</p>	B12
<p>RB15 – Direcionar o esforço de instituições de C&T e empresas para o desenvolvimento de soluções digitais aplicáveis a edificações, adotando o modelo de plataformas tecnológicas, entre outras possibilidades, sob a coordenação do MCTI e suporte do MME, MDR e ME.</p>	B12
<p>RB16 – Fortalecer a cooperação técnica MDR - ABNT, com a abrangência estendida para os demais setores governamentais competentes, entidades de classe e instituições de C&T, para acelerar o processo de criação, atualização e publicação das normas brasileiras.</p>	B13
<p>RB17 – Criar instrumentos para incentivar a participação do Brasil nos fóruns internacionais de normalização em digitalização.</p>	B13
<p>RB18 – Desenvolver e divulgar casos de sucesso de aumento da produtividade e eficiência energética com a utilização de soluções digitais em edificações, por tipologia e fase do ciclo de vida.</p>	B14
<p>RB19 – Criar programas de intercâmbio internacional tecnológico e comercial, principalmente com países líderes nas soluções digitais aplicáveis a edificações e direcionados a empresas do setor da construção civil e do segmento de edificações.</p>	B14
<p>RB110 – Incluir a temática da digitalização como ferramenta de alavancagem da eficiência energética nos fóruns de discussão existentes do segmento produtivo de edificações.</p>	B14

Legenda: B11 – Implementação das diversas políticas públicas setoriais de forma descoordenada, sem sinergia entre os órgãos competentes.
 B12 – Retração dos investimentos em CT&I com impacto na digitalização de setores da economia.
 B13 – Processos de normalização e regulamentação não acompanham o ritmo de evolução das tecnologias digitais.
 B14 – Parte dos representantes do segmento de edificações no Brasil resistem a normas e regulamentos e suas aplicações.

Quadro 2 – Recomendações associadas a barreiras mercadológicas e financeiras BM1 a BM7. Fonte: Elaboração própria.

Recomendação	Barreira
RBM1 – Aperfeiçoar a tributação destinada ao setor de construção civil e ao segmento de edificações e criar mecanismos de financiamento em condições diferenciadas para o desenvolvimento e adoção das soluções digitais aplicáveis.	BM1 BM6
RBM2 – Criar linhas de crédito específicas associando tecnologias digitais a edificações eficientes.	BM1 BM6
RBM3 – Incorporar soluções digitais (principalmente IOT) na linha branca de eletrodomésticos, possibilitando incluí-los em programas de rebote e no PEE ANEEL.	BM1 BM6
RBM4 – Incentivar Certificação DEO voluntária, por meio de programas como linhas de crédito específicas.	BM1 BM4
RBM5 – Criar programas para desenvolvimento de fornecedores de bens e serviços ligados às tecnologias digitais para o segmento de edificações.	BM2
RBM6 – Promover a inserção de tomadas inteligentes para controle do consumo de energia elétrica nos financiamentos de habitações de interesse social (HIS), por meio de tarifa branca e suporte para a resposta à demanda.	BM3
RBM7 – Criar e manter atualizado um Sistema Integrado de Informações em Eficiência Energética no Brasil, para interface amigável viando interação com os públicos de interesse e operações internas (<i>back office</i>) com bases de dados discretizadas (incluindo dados do segmento de edificações segregados por tipologia e fase do ciclo de vida).	BM4
RBM8 – Tornar obrigatória a etiquetagem de novas construções e reformas de edificações comerciais, residenciais e públicas de forma programada planejada e transparente, com níveis mínimos especificados por tipologia e por etapa do ciclo de vida, visando à obrigatoriedade de toda nova edificação e reforma, do mercado formal, em obter o nível “A” do PBE Edifica após 2035.	BM4
RBM9 – Atualizar benchmarks para as tipologias de edificações mais representativas no mercado, em termos quantitativos e de intensidade de uso energético, preferencialmente por meio de uma interface única para divulgação.	BM4
RBM10 – Regulamentar Certificação de Desempenho Energético de Edificações em Operação (DEO) e recertificações automáticas, a partir dos dados oriundos dos medidores inteligentes e baseadas em modelos remotos de auditoria e abertura de informações de energia.	BM4
RBM11 – Tornar obrigatória a certificação DEO por tipologia de forma programada planejada e transparente, com níveis mínimos especificados.	BM4
RBM12 – Estimular por meio de incentivos regulatórios ou linhas de crédito específicas) a adoção de soluções tecnológicas e digitais de ponta em reformas de edificações, de modo a aproveitar os custos de oportunidade.	BM5
RBM13 – Promover a criação por parte dos municípios de incentivos de mercado como a outorga onerosa do direito de construir para implantação de soluções digitais para eficiência energética em edificações.	BM2
RBM14 – Criar projetos específicos de P&D+I relacionados à digitalização em edificações, com vistas à eficiência energética.	BM2 BM4
RBM15 – Estabelecer normalização específica para mensuração e avaliação do desempenho de equipamentos integrados às edificações, bem como papéis e responsabilidades em relação ao seu uso e garantia.	BM7
RBM16 – Fomentar o mercado de seguros e resseguros relacionado à digitalização de edificações.	BM7

Legenda: BM1 – Inexistência de linhas de crédito específicas para a implementação de soluções digitais nas edificações.
 BM2 – Custos altos iniciais da adoção de soluções tecnológicas em edificações por pioneiro.
 BM3 – Baixo poder aquisitivo de usuários de algumas tipologias para adoção das soluções digitais.
 BM4 – Baixa disponibilidade de informação sobre o potencial e custos das oportunidades de eficiência energética.
 BM5 – Custos de oportunidade (necessidade de reformas) não aproveitados para reformas com foco em eficiência energética e digitalização.
 BM6 – Impacto dos custos de implementação da digitalização em Habitações de Interesse Social (HIS).
 BM7 – Falta de definição precisa de papéis e responsabilidades em relação ao uso e garantia de equipamentos incorporados à edificação.

Quadro 3 – Recomendações associadas a barreiras técnicas BT1 a BT5. Fonte: Elaboração própria.

Recomendação	Barreira
RBT1 – Adotar uma abordagem internacional relacionada à regulamentação técnica para minimizar eventuais efeitos negativos relacionados à falta de interoperabilidade entre soluções digitais.	BT1
RBT2 – Promover o desenvolvimento de soluções digitais centradas no ser humano aplicáveis a edificações.	BT1
RBT3 – Viabilizar investimentos de infraestrutura de telecomunicação (internet), principalmente voltados para banda larga e rede móvel, com vistas à ampliação do acesso adequado à digitalização.	BT2
RBT4 – Fortalecer os mecanismos e programas para a padronização de materiais e serviços em construção civil.	BT3
RBT5 – Propor normalização referente a eletrodomésticos e outros equipamentos com inteligência embarcada.	BT3
RBT6 – Propor normalização relacionada à Internet das Coisas (IoT) em suas aplicações em edificações.	BT3
RBT7 – Adotar padrões de segurança cibernética a fim minimizar o número de ataques cibernéticos, bem como legislação adequada prevenir e responder aos incidentes.	BT4
RBT8 – Promover financiamento em instituições de C&T para desenvolvimento da Internet das Coisas (IoT).	BT3
RBT9 – Promover o desenvolvimento de dispositivos totalmente wifi para serem conectados a equipamentos eletrônicos/elétricos não inteligentes de fábrica, evitando obras de infraestrutura e a necessidade de troca (antes do término de sua vida útil) por equipamentos inteligentes.	BT5

Legenda:

- BT1 – Interfaces não amigáveis dificultando a adoção das soluções digitais.
- BT2 – Falta de infraestrutura de internet para disponibilizar acesso amplo e de qualidade para o fomento da digitalização em edificações.
- BT3 – Estágio embrionário no país da padronização de processos, materiais e equipamentos no segmento de edificações.
- BT4 – Insegurança cibernética.
- BT5 – Adoção da digitalização em residências e pequenos comércios/serviços existentes, por requerer obras civis, pode inviabilizar sua implementação.

Quadro 4 – Recomendações associadas a barreiras comportamentais e de qualificação de mão-de-obra especializada BC1 a BC7.

Fonte: Elaboração própria.

Recomendação	Barreira
<p>RBC1 – Estabelecer plano de comunicação integrado específico para cada público de interesse em digitalização de edificações e eficiência energética no país, enfatizando-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Benefícios não só financeiros, mas também climáticos (redução de emissões de GEE); • Possibilidade de empoderamento da gestão do consumo de energia por parte do usuário; • Mapeamento das tecnologias digitais para cada público-alvo; • Sensibilização para a proteção contra práticas de <i>greenwashing</i> no segmento de edificações. 	<p>BC1 BC2 BC3 BC7</p>
<p>RBC2 – Criar ou reformular grades curriculares em cursos profissionalizantes e de ensino superior em relação aos temas digitalização e eficiência energética.</p>	<p>BC4 BC5</p>
<p>RBC3 – Elaborar um plano de capacitação contínua de profissionais prestadores de serviços associados à digitalização em edificações, enfatizando-se a delimitação clara do escopo da capacitação, para não ficar muito abrangente. Um exemplo seria um curso com foco em cada um dos domínios abordados neste estudo.</p>	<p>BC5</p>
<p>RBC4 – Incentivar programas de competências tecnológicas nas empresas que atuam no segmento de edificações.</p>	<p>BC5</p>
<p>RBC5 – Implementar medidas que permitam um tempo de transição para adaptação do mercado à digitalização no segmento de edificações.</p>	<p>BC6</p>
<p>RBC6 – Implementar medidas para coibir práticas de <i>greenwashing</i> no segmento de edificações, incluindo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Denúncias a órgãos de defesa do consumidor; • Exposição/divulgação de casos de <i>greenwashing</i> em edificações; • Homogeneização dos parâmetros ESG para empresas do segmento de edificações, de modo a construir um arcabouço robusto e confiável de avaliação. 	<p>BC7</p>

Legenda:

- BC1 – Resistência do setor de construção civil a novas tecnologias digitais em edificações.
- BC2 – Baixa confiança do usuário em relação aos benefícios da adoção das soluções digitais e segurança cibernética.
- BC3 – Cultura de eficiência energética na sociedade brasileira.
- BC4 – Grades curriculares defasadas em cursos profissionalizantes e no ensino superior em relação aos temas digitalização e eficiência energética.
- BC5 – Baixa oferta de educação profissional e treinamento em digitalização de edificações.
- BC6 – Mudanças tecnológicas rápidas dificultam o mercado a se manter atualizado.
- BC7 – *Greenwashing* de edificações.

Executive summary

The building segment accounts for about 1/6 of energy consumption and 50% of electricity consumption in Brazil. It is a complex segment with several actors and of great economic importance for the country. Currently, the digitalization degree in this segment is still low, especially due to the high investment costs and the difficulty of estimating the benefits provided by digital technologies.

Digital solutions in buildings have been applied fundamentally in commercial buildings and corporate profile services. The potential contribution of digitalization to the increase of energy efficiency in the building segment in Brazil is indicated as relevant in the sector context in the medium and long term horizons.

In order to contribute to the debate on the possible evolutionary trajectories of the digitalization conditions in the building segment in the medium and long term and to subsidize the formulation or revision of public policies, decisions and actions of the present, three prospective scenarios were conceived regarding the energy efficiency potential arising from digitalization in the building segment in Brazil, by 2050. As the main result of this prospective study, the scenarios traced paths for alternative futures of digitalization, recommended according to three implementation paces - slow, moderate or fast. In summary, the three scenarios are:

Scenario A - Slow digitalization: Digitalization in the building segment in Brazil occurs at a slow pace, with induction by the state limited to public buildings. Public housing policies emphasize social interest housing (SIH). The use of digital solutions in SIH and the potential increase in energy efficiency are considered aspects of lower relevance face to urgent need to reduce the housing deficit. The adoption of some digital solutions, implemented in the phases of project, construction, operation and renovation

of buildings occurs autonomously, following the natural market evolution of these technologies in the country. The implementation mapping of these solutions by lifecycle phase in this scenario can be visualized in Figure 2.8.

As a result of the slow pace digitalization in the segment, the potential for energy efficiency is low, standing at levels below 10% of the total of 161 TWh by 2050^{1a}, comparable to the annual electricity consumption of up to about 840 thousand households^{2a}, and equivalent to avoided emissions^{3a} of 200 thousand tCO₂.

Scenario B - Moderate digitalization: Digitalization in the building segment in Brazil is implemented at a moderate pace, being induced by the state in public, commercial and service buildings, through regulatory instruments of digitalization and energy efficiency. Public housing policies include mechanisms aimed at increasing energy efficiency and digitalization in social interest housing, with emphasis on digital technologies of transversal application. Digital solutions are implemented in all life cycle phases of buildings, with the growing share of private investments. Mapping the implementation of these solutions by life cycle phase in this scenario can be visualized in Figure 2.9.

^{1a} In the scenario "Expansion challenge" of the National Energy Plan 2050, an energy efficiency potential of 321 TWh is estimated in Brazil, which corresponds to 17% of the total electricity consumption in the considered horizon (2050). Given that the building segment is now responsible for about 50% of the total electricity consumption in Brazil, it is estimated that the potential for energy efficiency in the building segment will be about 161 TWh by 2050. The basis for estimating the energy efficiency potential percentage in the slow digitalization scenario is described in Chapter 2 (section 2.7 – item 2.7.3).

^{2a} Calculated based on the average monthly electricity consumption per household presented in the Survey of Possession and Usage Habits of Electrical Equipment in the Residential Class of 2019 [75] (see section 2.7 – item 2.7.3).

^{3a} Calculated from the average CO₂ equivalent emission factor available on the website of the Ministry of Science, Technology and Innovations for the year 2021 [76]. This factor aims to estimate the equivalent CO₂ emission associated with a given electricity generation (section 2.7 - item 2.7.3).

The energy efficiency potential resulting from moderate digitalization reaches levels of 20 to 30% of the total 161 TWh by 2050^{4a}, comparable to the annual electricity consumption of up to about 2,520 thousand households^{5a}, and equivalent to avoided emissions^{6a} of 610 thousand tCO₂.

Scenario C - Fast digitalization: digitalization in the building segment is implemented at a fast pace in the country, being strongly induced by the state, with wide participation of private investments and accelerated adoption of digital technologies. It covers all types of buildings, due to the effective integration between the various institutional and regulatory mechanisms aimed at digitalization, energy efficiency and housing. Many commercially available digital solutions are adopted in all phases of the building life cycle already in the first decade.

With the rapid digitalization in the segment of buildings, we observe the use massification of digital technologies, driven by the economic growth of the country, increase of public and private investments and integration of public policies and instruments aimed at energy efficiency, housing and digitalization. Commercially available digital solutions have been adopted in all phases of the building life cycle since the first decade. The implementation mapping of these solutions by lifecycle phase in this scenario can be visualized in Figure 2.10.

The energy efficiency potential, resulting from rapid digitalization, reaches levels of 30 to 40% of the total 161 TWh by 2050^{7a}, comparable to the annual electricity consumption of up to about 3,360 thousand households^{8a} and equivalent to avoided emissions^{9a} of 815 thousand tCO₂.

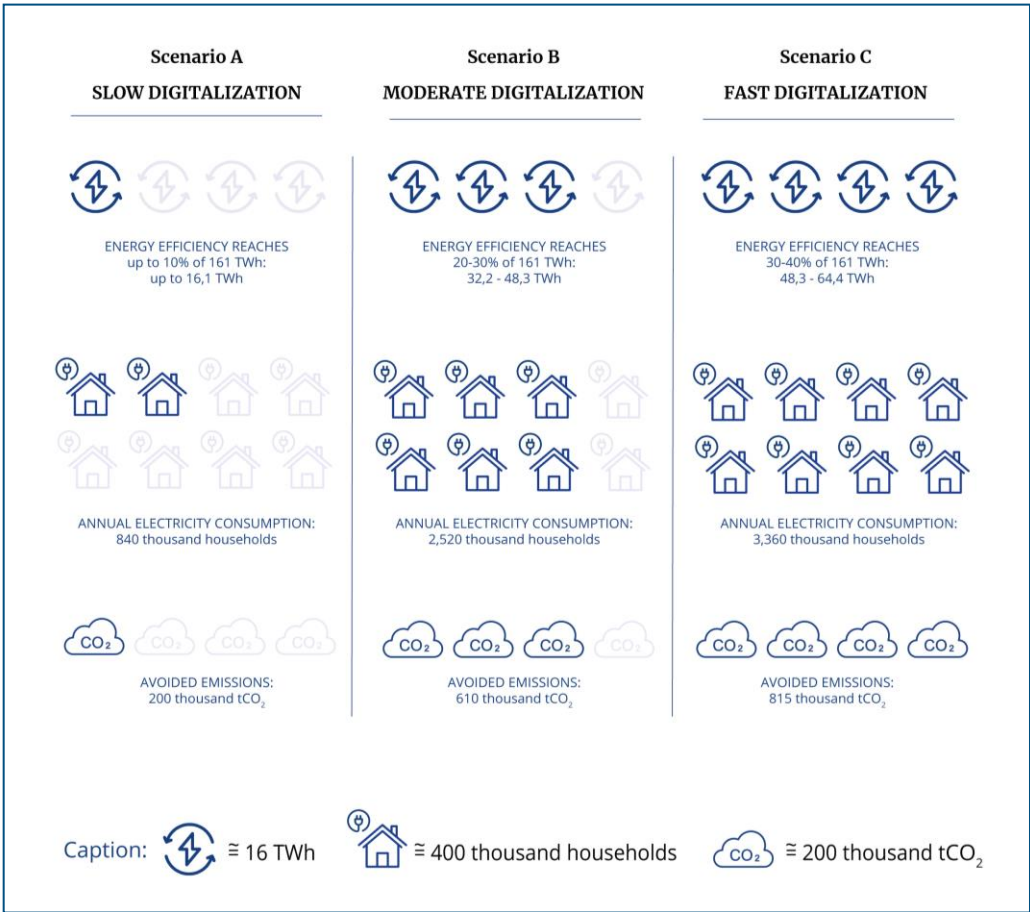


Figure 1 – Energy efficiency potential for each digitalization scenario, as a percentage of the total 161 TWh by 2050. Source: Elaborated by the authors.

^{4a} See note 1. The basis for estimating the energy efficiency potential percentage in the moderate digitalization scenario is described in Chapter 2 (section 2.7 – item 2.7.3).

^{5a} See note 2 (section 2.7 – item 2.7.3).

^{6a} See note 3 (section 2.7 – item 2.7.3).

Actors, stakeholders and influencers of digitalization scenarios in the building segment

We sought to understand the power of interested actors and influencers on the focused issue, by their action and influence on the key variables, particularly the determining variables or driving forces of the digitalization evolution in the building segment in Brazil, in the horizon of 2050. The results of this analysis indicated that the Ministry of Mines and Energy (MME), the Ministry of Economy and the Ministry of Regional Development (MRD) are the most important players for their great ability to influence the increase in energy efficiency in the building segment, resulting from digitalization in this segment.

On a second level, there are regulatory agencies (ANATEL and ANEEL), financial agents (BNDES, Caixa Econômica, public and private banks) and Municipal Public Administration bodies. To companies in the production chain of the building segment also have a prominent position in the hierarchy, especially builders and developers, architectural, engineering and consulting services offices, as well as building managers and materials and electronic equipment suppliers.

No less important in the hierarchy are the actors who act on key link variables, such as:

- i. Standardization and certification bodies acting on the variable “Technical standardization and regulation applicable to digitalization in the building segment”;
- ii. Universities, technical schools, research centers, startups and accelerators influencing the evolution of the variable “Multilevel training in digital solutions for professionals in the building segment”;
- iii. Third sector organizations with an interest in energy efficiency and digitalization, influencing the behavior of buildings users;
- iv. Users, by the component of awareness about the quality of the building; to energy efficiency and the benefits of using digital solutions in their day-to-day life.

Digitalization conditions in the building segment

The identification and classification of key variables by structural analysis allowed to be analyzed and selected the future conditions, that is, those relevant phenomena that will shape the evolution of the most likely scenarios of the energy efficiency potential of buildings in Brazil, resulting from digitalization in the focused segment.

Based on the analysis of the current situation (2021), the experience of the team and the results of the semi-structured interviews conducted with specialists (Appendix 1), 22 future conditions were identified, eleven political and regulatory and eleven non-regulatory conditions (chapter 2-section 2.6). To illustrate, we mention:

- i. Integration of public policies and mechanisms of energy efficiency and continuity of the National Program of Conservation of Electric Energy (PROCEL) and the Brazilian Labeling Program (PBE Edifica);
- ii. Implementation of the National Climate Change Policy (PNMC) and the Nationally Determined Contribution (NDC);
- iii. Revision of the National Housing Plan with expected validity until 2040 (PlanHab 2040);
- iv. Implementation of the National BIM in Brazil;
- v. Technological development and offer of digital solutions in the country.

Case studies show increased energy efficiency due to digitalization

In addition to the scenarios, the impact of digital solutions on increasing energy efficiency was evaluated from the analysis of four case studies of digitalization in buildings of different typologies and in different life cycle phases, namely:

- v. Minha Casa + Sustentável (Rio de Janeiro – RJ) – project phase;
- vi. AQWA Corporate (Rio de Janeiro – RJ) – project and operation phases;
- vii. São Paulo Corporate Towers (São Paulo – SP) – project and operation phases;
- viii. Gávea Planetarium (Rio de Janeiro – RJ) – renovation and operation phases.

The research and analysis of cases of digital solutions adoption in buildings in Brazil show that, even if there are important examples, the degree of digitalization in buildings in Brazil is still low, compared to number of enterprises in the national territory. It is also noticed that the information associated with the cases are not adequately computed and disseminated, incurring the difficulty of obtaining energy saving data or energy efficiency values from the improvement measures derived from digitalization (notably those implemented from the origin of the building, due to lack of well-defined parameters).

^{7a} See note 1. The basis for estimating the energy efficiency potential percentage in the fast digitalization scenario is described in Chapter 2 (section 2.7 – item 2.7.3).

^{8a} See note 3 (section 2.7 – item 2.7.3).

^{9a} See note 3 (section 2.7 – item 2.7.3).

Barriers to digitalization, strategic implications and recommendations

At the end of Chapter 2, we present the of the analysis results of the barriers for the implementation of digitalization in the building segment in Brazil and strategic implications. Based on documentary analysis and semi-structured interviews conducted with experts during the month of November 2021 (Appendix 1), the team identified a set of barriers, which were subsequently classified into four groupings, as listed below.

Institutional barriers (IB)

- Implementation of several sectoral public policies in an uncoordinated manner, without synergy among the competent bodies (IB1);
- Investments retraction in CT&I with impact on digitalization of sectors of the economy (IB2);
- Regulations do not follow the evolution of digital technologies (IB3);
- Some of the representatives of the building segment in Brazil resist standards and regulations and their applications (IB4).

Marketing and financial barriers (MB)

- The absence of credit lines, that are specific to the implementation of digital solutions in the buildings (MB1);
- High costs of early adoption of technological solutions in the buildings, for the pioneers (MB2);
- The low purchasing power of users of some of the typologies for the digital solutions adoption (MB3);
- The low availability of information on the potential and costs of the energy efficiency opportunities (MB4);
- Opportunity costs (renovation need) is not used for renovations, for instance, with a focus on the energy efficiency and digitalization (MB5);
- The impact of the implementation costs of the digitalization in Social Interest Housing (SIH) (MB6);
- The lack of a precise definition of roles and responsibilities with respect to the use, and the guarantee of the equipment built-in to the building (MB7).

Technical barriers (TB)

- Not friendly interfaces hindering the adoption of digital solutions (TB1);
- Lack of internet infrastructure to provide wide and quality access for digitalization promotion in buildings (TB2);
- Embryonic stage in the country of standardization of processes, materials and equipment in the building segment (TB3);
- Cyber insecurity (TB4);
- Adoption of digitalization in homes and small businesses/existing services, requiring civil works, may make its implementation unfeasible (TB5).

Behavioral and skilled workforce qualification barriers (BB)

- Resistance from the construction sector to the emerging digital technology in buildings (BB1);
- Low confidence of the user regarding the benefits from the adoption of digital solutions and cybersecurity (BB2);
- A culture of energy efficiency in the Brazilian society (BB3);
- Obsolete curriculum in the professional education courses and on higher education, regarding the digitalization and energy content (BB4);
- Poor provision of technical and vocational education and training in the buildings digitalization (BB5);
- Technology change is fast, and makes it difficult to the market to keep up-to-date (BB6);
- Greenwashing of buildings (BB7).

Seeking to contribute to the formulation of public policies and actions aimed at digitalization and energy efficiency in the building segment in Brazil and reduce risks in decision-making processes, both in the public and private spheres, Chapter 4 proposes a set of recommendations associated with institutional barriers (IB); marketing and financial (MB); techniques (TB); and behavior and qualification of specialized labor (BB) (Tables 1 to 4).

Table 1 – Recommendations associated with institutional barriers IB1 to IB4. Source: Elaborated by the authors.

Recommendation	Barrier
<p>RIB1 – Review the institutional framework for energy efficiency:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establish governance that ensures coordination between several sectoral policies (housing, transport, CT&I, Education, Environment, Health, Industry, Energy, etc.); • Establish and publish a long-term agenda for the application of programme resources such as PROCEL and PEE/ANEEL, but not restricted to them in a context of greater institutional coordination and integration of energy efficiency initiatives; • Strengthen the performance of MME and MRD in the sectoral coordination of policies aimed at promoting energy efficiency in the building segment. 	IB1
<p>RIB2 – Develop a joint plan with the participation of government bodies, public, private and third sectors to promote digitalization in the building segment, in the perspective of exploring synergies and integrate policy instruments under the control of different bodies.</p>	IB1
<p>RIB3 – Create public-private funds to support innovation, in the form of non-reimbursable funds for collaborative research, collective financing (crowdfunding), boosted collective financing (matchfunding), asset funds, among others.</p>	IB2
<p>RIB4 – Develop programs/services in niches with bigger space for national technological development, focusing on digital solutions for energy efficiency in buildings (mission-oriented).</p>	IB2
<p>RIB5 – Direct the effort from C&T institutions and companies to the development of digital solutions applicable to buildings, adopting the model of technological platforms, among other possibilities, under the coordination of MCTI and support from MME, MRD and ME.</p>	IB2
<p>RIB6 – Strengthen MRD - ABNT technical cooperation, with the scope extended to other competent governmental sectors, class entities and C&T institutions to accelerate the process of creating, updating and publishing Brazilian standards.</p>	IB3
<p>RIB7 – Create instruments to encourage Brazil's participation in international standardization forums on digitalization.</p>	IB3
<p>RIB8 – Develop and disseminate successful cases of increased productivity and energy efficiency using digital solutions in buildings, by typology and life cycle phase.</p>	IB4
<p>RIB9 – Create international technological and commercial exchange programs, mainly with leading countries in digital solutions applicable to buildings and aimed at companies in the construction sector and the building segment.</p>	IB4
<p>RIB10 – Include the topic of digitalization as a tool for leveraging energy efficiency in the discussion of the productive segment of buildings.</p>	IB4

Caption: IB1 – Implementation of several sectoral public policies in an uncoordinated manner, without synergy between the competent bodies.
 IB2 – Investments retraction in CT&I with impact on the digitalization of economy sectors.
 IB3 – Standardization and regulation processes do not follow the digital technologies evolution.
 IB4 – Part of the representatives of the building segment in Brazil resists to norms and regulations and their applications.

Table 2 – Recommendations associated with market and financial barriers MB1 to MB7. Source: Elaborated by the authors.

Recommendation	Barrier
RMB1 – Improve taxation for the civil construction sector and the building segment and create financing mechanisms under differentiated conditions for the development and adoption of applicable digital solutions.	MB1 MB6
RMB2 – Create specific credit lines by associating digital technologies with efficient buildings.	MB1 MB6
RMB3 – Incorporate digital solutions (mainly IoT) in the white line of home appliances, enabling include them in rebate programs and PEE ANEEL.	MB1 MB6
RMB4 – Encourage voluntary DEO Certification, through programs such as specific credit lines.	MB1 MB4
RMB5 – Create programs for the development of goods and services suppliers related to digital technologies for the building segment.	MB2
RMB6 – Promote the insertion of smart plugs to control electricity consumption in the financing of social interest housing (SIH), through white tariff and support for the demand response.	MB3
RMB7 – Create and maintain an integrated Energy Efficiency Information System in Brazil, user-friendly interface enabling interaction with audiences of interest and internal operations (back office) with databases discretization (including building segment data segregated by typology and life cycle phase).	MB4
RMB8 – Turn into mandatory the labelling of new buildings and renovations of commercial, residential and public buildings, in a planned and transparent manner, with minimum levels specified by typology and life cycle phase, aiming at the obligation of all new building and renovation, of the formal market, in obtaining the level "A" of the PBE Edifica after 2035.	MB4
RMB9 – Update benchmarks for the most representative building types in the market, energy use intensity quantitative terms, preferably through a single interface for dissemination.	MB4
RMB10 – Regulate Energy Performance Certification of Buildings in Operation (DEO) and automatic re-certifications, based on data from smart meters and remote models of auditing and opening of energy information.	MB4
RMB11 – Make the DEO certification by typology mandatory in a planned and transparent programmed way, with specified minimum levels.	MB4
RMB12 – Encourage, through regulatory incentives or specific credit lines, the adoption of digital and state-of-the-art technology solutions in building renovations to take advantage of opportunity costs.	MB5
RMB13 – Promote the creation by municipalities of market incentives such as the onerous grant of the right to build for the implementation of digital solutions for energy efficiency in buildings.	MB2
RMB14 – Create specific R&D+I projects related to digitalization in buildings, aiming at energy efficiency.	MB2 MB4
RMB15 – Establish specific standardization for measurement and evaluation of equipment performance integrated into the buildings, as well as roles and responsibilities on their use and assurance.	MB7
RMB16 – Promote the insurance and reinsurance market related to the digitalization of buildings.	MB7

Caption: MB1 – The absence of credit lines, that are specific to the implementation of digital solutions in the buildings.
MB2 – High costs of early adoption of technological solutions in the buildings, for the pioneers.
MB3 – Low purchasing power of users of some of the typologies for the digital solutions adoption.
MB4 – The low availability of information on the potential and costs of the energy efficiency opportunities.
MB5 – Opportunity costs (renovation need) is not used, for instance, with a focus on the energy efficiency and digitalization.
MB6 – The impact of the implementation costs of the digitalization in Social Interest Housing (SIH).
MB7 – The lack of a precise definition of roles and responsibilities with respect to the use, and the guarantee of the equipment built-in to the building.

Table 3 – Recommendations associated to technical barriers TB1 to TB5. Source: Elaborated by the authors.

Recommendation	Barrier
RTB1 – Adopt an international approach related to technical regulation to minimize any negative effects related to the lack of interoperability between digital solutions.	TB1
RTB2 – Promote the development of human-centered digital solutions applicable to buildings.	TB1
RTB3 – Enable investments in telecommunications infrastructure (internet), mainly focused on broadband and mobile network, aiming at extending adequate access to digitalization.	TB2
RTB4 – Strengthen mechanisms and programs for the standardization of materials and services in civil construction.	TB3
RTB5 – Propose standardization regarding household appliances and other equipment with embedded intelligence.	TB3
RTB6 – Propose standardization related to the Internet of Things (IoT) in its applications in buildings.	TB3
RTB7 – Adopt cybersecurity standards in order to minimize the number of cyber-attacks, as well as appropriate legislation to prevent and respond to incidents.	TB4
RTB8 – Promote funding for C&T institutions aiming the development of the Internet of Things (IoT).	TB3
RTB9 – Promote the development of fully wi-fi devices to be connected to non-smart electronic/electrical equipment at the factory, avoiding infrastructure works and the need to exchange (before the end of its service life) for smart equipment.	TB5

Caption: TB1 – Not friendly interfaces hindering the adoption of digital solutions.
 TB2 – Lack of internet infrastructure to provide wide and quality access for digitalization promotion in buildings.
 TB3 – Embryonic stage in the country of standardization of processes, materials and equipment in the building segment.
 TB4 – Cyber insecurity.
 TB5 – Adoption of digitalization in homes and small businesses/existing services, requiring civil works, may make its implementation unfeasible.

Table 4 – Recommendations associated to behavioural and skilled workforce qualification barriers BB1 to BB7.

Source: Elaborated by the authors.

Recommendation	Barrier
<p>RBB1 – Establish a specific integrated communication plan for each public of interest in digitalization of buildings and energy efficiency in the country, emphasizing:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Not only financial but also climatic benefits (reduction of GHG emissions); • Possibility of empowering the energy consumption management by the user; • Mapping of digital technologies for each target audience; • Awareness of the protection against greenwashing in the buildings segment. 	<p>BB1 BB2 BB3 BB7</p>
<p>RBB2 – Create or reformulate curricular programs in vocational and higher education courses regarding digitalization and energy efficiency topics.</p>	<p>BB4 BB5</p>
<p>RBB3 – Develop a plan for continuous training of professional service providers associated with digitalization in buildings, emphasizing a clear delimitation of the scope of training, so as not to be too comprehensive. An example would be a course focusing on each of the domains covered in this study.</p>	<p>BB5</p>
<p>RBB4 – Encourage technological skills programs in companies operating in the building segment.</p>	<p>BB5</p>
<p>RBB5 – Implement measures that allow a transition time to adapt the market to digitalization in the building segment.</p>	<p>BB6</p>
<p>RBB6 – Implement measures to curb greenwashing in the building segment, including:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Complaints to consumer protection bodies; • Exposure/disclosure of greenwashing cases in buildings; • Homogenization of ESG parameters for companies in the building segment, in order to build a robust and reliable evaluation framework. 	<p>BB7</p>

Caption: BB1 – Resistance from the construction sector to the emerging digital technology in buildings.
BB2 – Low confidence of the user regarding the benefits from the adoption of digital solutions and cybersecurity.
BB3 – Energy efficiency culture in the Brazilian society.
BB4 – Obsolete curriculum in the professional education courses and on higher education, regarding the digitalization and energy content.
BB5 – Poor provision of technical and vocational education and training in the buildings digitalization.
BB6 – Technology change is fast, and makes it difficult to the market to keep up-to-date.
BB7 – Greenwashing of buildings.

1. Introdução

A transformação digital no segmento de edificações, como em todos os demais setores da economia, vem se tornando cada vez mais presente no cotidiano ao possibilitar a coleta, armazenamento, organização e processamento de dados de forma inédita. O conjunto de dados disponíveis pode ser analisado e relacionado com contextos específicos, gerando informações úteis para a sistematização de processos de forma cada vez mais otimizada.

A transformação digital também pode tornar mais eficiente a integração de edifícios em sistemas urbanos e sua interação entre si. Edificações inteligentes podem usar o potencial de deslocamento de carga para uma integração eficiente de sistemas de energia renovável. Dentre as principais funções para as quais a digitalização pode contribuir neste segmento, destaca-se para fins deste estudo a eficiência energética.

O segmento de edificações responde por cerca de 1/6 do consumo de energia e 50% do consumo de eletricidade no Brasil. Este segmento traz grandes desafios para o setor de energia associados a escolhas mais eficientes entre geração local e centralizada, digitalização de redes de distribuição de eletricidade e expansão de redes de distribuição de gás natural [1]. Outros desafios referem-se à criação de ambientes propícios para adoção de tecnologias digitais em todo o ciclo de vida dos edifícios, a ações educacionais para conscientizar a sociedade quanto aos benefícios da eficiência energética e da digitalização para edificações eficientes, e a um arcabouço econômico-regulatório adequado. Tais desafios requerem articulação institucional entre os diversos atores sociais para que as necessidades energéticas do segmento de edificações possam ser atendidas de forma mais efetiva.

Neste estudo, analisaram-se vinte soluções digitais que podem contribuir para a eficiência energética durante todo o ciclo de vida de uma edificação. Estas soluções abrangem: as tecnologias de gestão e automação; os programas computacionais de modelagem, simulação e avaliação; as tecnologias de gerenciamento e segurança dos dados, as tecnologias que aumentam a produtividade e a tecnologia Modelagem da Informação da Construção (BIM). A etapa de projeto é importante, porque vários parâmetros do edifício podem ser definidos na concepção e determinar o desempenho energético da edificação por anos (orientação solar, sistemas de ventilação, envoltória, dentre outros). Novos desenvolvimentos no campo da digitalização (p.ex., a metodologia *Building Information Modeling* - BIM) podem definir o curso para melhorar a eficiência energética das edificações de diversas tipologias. Além disso, a digitalização dos processos de construção pode impulsionar a padronização de componentes e processos de construção associada a medidas de eficiência

energética a serem adotadas em larga escala a um custo mais acessível, inclusive para as habitações de interesse social (HIS).

Hoje é ainda baixo o grau de digitalização no segmento de edificações no Brasil, especialmente em função dos altos custos de investimento e da dificuldade de se estimar os benefícios proporcionados pelas tecnologias digitais neste segmento. Soluções digitais em edificações vêm sendo aplicadas fundamentalmente nas edificações comerciais e de serviços de perfil corporativo, mas há estudos de caso conduzidos principalmente pela academia, que são direcionados a HIS [2].

O presente estudo foi elaborado no âmbito da Parceria Energética Brasil-Alemanha e do projeto Eficiência Energética para o Desenvolvimento Urbano Sustentável (EEDUS) e tem como objeto o atendimento à demanda do Grupo Técnico para Eficientização de Energia em Edificações (GT-Edificações), vinculado ao Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) do Ministério de Minas e Energia (MME), com relação ao papel e ao potencial das tecnologias digitais associadas à eficiência energética no segmento de edificações em nível nacional.

O objetivo do estudo é identificar e sistematizar soluções e aplicações digitais para edificações residenciais, comerciais e públicas, em relação a diferentes segmentos do mercado e considerando todo o ciclo de vida do edifício, com o fim de oferecer uma base para a formulação de políticas públicas que visam o aumento da eficiência energética do segmento de edificações, por meio da transformação digital. Para atingir esse objetivo geral, concebeu-se uma metodologia em três fases: exploratório-descritiva, prospectiva e propositiva. Este relatório final refere-se às duas últimas fases. Os resultados da primeira fase foram apresentados no relatório preliminar do estudo [2].

A potencial contribuição da digitalização para o aumento da eficiência energética no segmento de edificações no Brasil é apontada como relevante nesse contexto setorial em horizontes de médio e longo prazo, como preconizam os três cenários prospectivos apresentados neste documento.

De forma a contribuir para o debate sobre as possíveis trajetórias evolutivas dos condicionantes da digitalização no segmento de edificações no médio e longo prazo e subsidiar a formulação ou revisão de políticas públicas, decisões e ações do presente, neste relatório antecipam-se três cenários prospectivos referentes ao potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil, no horizonte 2050. Os cenários traçam caminhos para futuros alternativos da digitalização, preconizada segundo três ritmos de implementação – lenta, moderada ou rápida. A seguir, apresenta-se uma breve descrição de cada cenário.

Cenário A – Digitalização lenta: A digitalização no segmento de edificações no Brasil ocorre em ritmo lento, com indução pelo Estado limitada a edificações públicas. Políticas públicas habitacionais enfatizam as habitações de interesse social. O uso de soluções digitais em HIS e o aumento potencial de eficiência energética são considerados aspectos de menor relevância face à necessidade premente de redução do déficit habitacional. A adoção de algumas soluções digitais, implementadas nas fases de projeto, construção, operação e reforma das edificações, ocorre de forma autônoma seguindo a evolução natural do mercado dessas tecnologias no país. Em consequência do ritmo lento da digitalização no segmento, o potencial de eficiência energética é baixo, situando-se em níveis inferiores a 10% do total de 161 TWh até 2050¹⁰.

Cenário B – Digitalização moderada: A digitalização no segmento de edificações no Brasil é implementada em ritmo moderado, sendo induzida pelo Estado em edificações públicas, comerciais e de serviços, mediante instrumentos regulatórios de digitalização e de eficiência energética. Políticas públicas habitacionais incluem mecanismos voltados para o aumento de eficiência energética e da digitalização em habitações de interesse social, com ênfase em tecnologias digitais de aplicação transversal. Soluções digitais são implementadas em todas as fases do ciclo de vida das edificações, com a participação crescente de investimentos privados. O potencial de eficiência energética decorrente da digitalização moderada atinge patamares de 20 a 30% do total de 161 TWh até 2050¹¹.

¹⁰ No cenário “Desafio da expansão” do Plano Nacional de Energia 2050 [1], estima-se um potencial de eficiência energética de 321 TWh no Brasil, que corresponde a 17% do consumo total de energia elétrica no horizonte considerado (2050). Dado que o segmento de edificações é responsável hoje por cerca de 50% do consumo total de energia elétrica no Brasil, estima-se que o potencial de eficiência energética no segmento de edificações seja cerca de 161 TWh até 2050. As bases da estimativa do percentual do potencial de eficiência energética no cenário de digitalização lenta encontram-se descritas no Capítulo 2 (seção 2.7 – item 2.7.3).

¹¹ Ver nota 1. As bases da estimativa do percentual do potencial de eficiência energética no cenário de digitalização moderada encontram-se descritas no Capítulo 2 (seção 2.7 – item 2.7.3).

Cenário C – Digitalização rápida: A digitalização no segmento de edificações é implementada em ritmo rápido no país, sendo fortemente induzida pelo Estado, com ampla participação de investimentos privados e adoção acelerada de tecnologias digitais. Abrange todas as tipologias de edificações, em função da efetiva integração entre os diversos mecanismos institucionais e regulatórios voltados para digitalização, eficiência energética e habitação. Muitas soluções digitais disponíveis comercialmente são adotadas em todas as fases do ciclo de vida das edificações já na primeira década. O potencial de eficiência energética decorrente da digitalização rápida atinge níveis de 30 a 40% do total de 161 TWh¹² até 2050.

Em complementação aos cenários prospectivos, apresentaram-se quatro estudos de casos de edificações inteligentes no Brasil, incluindo uma habitação de interesse social. Buscou-se, por meio dos estudos de caso, evidenciar a economia de energia devido à implementação de soluções digitais de edificações de diferentes tipologias e em fases distintas do ciclo de vida.

Este documento está estruturado em quatro capítulos, incluindo esta introdução. No Capítulo 2, propõe-se um modelo conceitual para a construção dos cenários alternativos e, na sequência, apresentam-se os resultados da análise estrutural das variáveis-chave e os principais atores, interessados e influenciadores dos cenários. A seguir, caracterizam-se condicionantes político-regulatórios e não regulatórios que moldarão a evolução dos cenários mais prováveis do potencial de eficiência energética, decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil. Descrevem-se os cenários do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil, contemplando:

- i. Filosofia¹³;
- ii. Trajetória no período 2022-2030¹⁴;
- iii. Trajetória no período 2031-2050.

Ao final, identificam-se e analisam-se as principais barreiras à digitalização no segmento de edificações, classificando-as em barreiras institucionais; mercadológicas e financeiras; técnicas; e comportamentais e de qualificação de mão-de-obra especializada.

O Capítulo 3 descreve quatro estudos de caso de digitalização em edificações de diferentes tipologias e fases do ciclo de vida, contemplando:

- i. Características arquitetônicas;
- ii. Iniciativas de eficiência energética;
- iii. Descritivo de soluções digitais;
- iv. Dados de economia energética.

Os casos retratados foram:

- i. Minha Casa + Sustentável (Rio de Janeiro – RJ) – fase de projeto;
- ii. AQWA Corporate (Rio de Janeiro – RJ) – fases de projeto e operação;
- iii. São Paulo Corporate Towers (São Paulo – SP) – fases de projeto e operação;
- iv. Planetário da Gávea (Rio de Janeiro – RJ) – fases de reforma e operação.

Finalmente, no Capítulo 4, propõem-se recomendações para eliminação das barreiras discutidas ao final do Capítulo 2, buscando contribuir para a formulação de políticas públicas e ações direcionadas à digitalização e eficiência energética no segmento de edificações no Brasil e a reduzir riscos em processos decisórios, tanto na esfera pública, quanto privada.

¹² Ver nota 1. As bases da estimativa do percentual do potencial de eficiência energética no cenário de digitalização rápida encontram-se descritas no Capítulo 2 (seção 2.7 – item 2.7.3).

¹³ Filosofia de um cenário sintetiza o movimento ou a direção fundamental do sistema considerado. Traduz a ideia-força do cenário.

¹⁴ Trajetória refere-se ao percurso ou caminho do sistema no período considerado. Descreve o movimento ou a dinâmica deste sistema, a partir da cena inicial até a cena final do período. Neste estudo, definem-se duas trajetórias para descrever cada cenário, a saber: 2022-2032 e 2033-2050.

2. Cenários do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil: horizonte 2050

Ao se construir cenários prospectivos, é possível abstrair-se da situação atual e estabelecer imagens alternativas de futuro para o aumento da eficiência energética do segmento de edificações no Brasil, decorrente da digitalização nas próximas décadas. Visam apoiar a formulação de políticas públicas direcionadas para esse objetivo e reduzir riscos em processos decisórios, tanto na esfera pública, quanto privada.

Cenários prospectivos são configurações de imagens de futuro condicionadas e fundamentadas em jogos coerentes de hipóteses sobre os prováveis comportamentos das variáveis determinantes do objeto de cenarização [3]. Outro conceito importante refere-se às incertezas críticas, definidas como aqueles fenômenos ou situações com alto grau de incerteza e de impacto para a questão norteadora do processo de construção dos cenários prospectivos [4].

Inicialmente, propõe-se um modelo conceitual para a construção dos cenários alternativos e, na sequência, apresentam-se os resultados da análise estrutural das variáveis-chave; os principais atores interessados e influenciadores dos cenários; a descrição propriamente dita dos cenários, bem como condicionantes e barreiras à digitalização no segmento de edificações no horizonte considerado.

2.1 Modelo conceitual para construção de cenários

Existem diversas abordagens e métodos para construção de cenários prospectivos, todos com o objetivo de se obter configurações de futuros alternativos de médio e longo prazo, que deverão ser utilizados como instrumentos no planejamento em nível macro (países e regiões), em nível setorial (setores da economia) e em nível organizacional (organizações públicas, privadas e do terceiro setor).

Neste estudo, foi empregada uma abordagem metodológica mista para a construção de cenários prospectivos alternativos, que combina a metodologia da Global Business Network [4] com ferramentas propostas por Godet [3]. Essa abordagem consiste em sete etapas descritas a seguir:

- i. Definição da questão orientadora para a construção dos cenários e horizonte temporal a ser considerado;
- ii. Definição e classificação das variáveis-chave, mediante o emprego da técnica de análise estrutural;
- iii. Identificação dos principais atores interessados e influenciadores dos cenários;
- iv. Caracterização da situação atual (2021) e identificação dos condicionantes de futuro no horizonte considerado¹⁵;
- v. Construção de cenários prospectivos, empregando-se o método de investigação morfológica [5]. Esta etapa inclui ainda a verificação da consistência e plausibilidade das configurações e a seleção dos cenários mais prováveis;
- vi. Descrição dos cenários prospectivos mais prováveis, contemplando: filosofia, trajetória no período 2022-2032 e trajetória no período 2033-2050.
- vii. Análise das barreiras para implementação da digitalização no segmento de edificações no horizonte de 2050 e das implicações estratégicas da adoção das soluções digitais para o aumento da eficiência energética neste segmento.

¹⁵ Condicionantes da digitalização no segmento de edificações no Brasil no horizonte considerado são aqueles fenômenos que moldarão a evolução dos cenários mais prováveis do potencial de eficiência energética, decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil. Referem-se a forças motrizes, tendências de peso, incertezas críticas, invariantes e fatos portadores de futuro associados à questão principal objeto da construção dos cenários.

A Figura 2.1 mostra o modelo conceitual que foi adotado na construção dos cenários prospectivos do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil, considerando-se o horizonte de 2050.

2.2 Questão orientadora e horizonte temporal dos cenários

A definição da questão orientadora e do horizonte temporal dos cenários foi conduzida em reunião com representantes da GIZ, do MME e do MDR em 10 de novembro de 2021.

Na ocasião, buscou-se total alinhamento da questão orientadora ao objetivo deste estudo prospectivo, qual seja “oferecer uma base para a formulação de políticas públicas que visam o aumento da eficiência energética do segmento de edificações, por meio da transformação digital no país”. Já o horizonte temporal foi estabelecido em consonância com o horizonte do Plano Nacional de Energia - PNE 2050 [1].

Como resultados, chegou-se à seguinte questão orientadora e ao horizonte temporal a ser considerado na cenarização, como enunciado abaixo:

“Qual o potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil no horizonte 2050?”

2.3 Análise estrutural das variáveis-chave

Com o propósito de organizar a visão da equipe técnica em torno de uma base comum de interpretação da questão a ser cenarizada, utilizou-se a técnica de análise estrutural, que consiste dos seguintes passos:

- i. Identificação e descrição das variáveis-chave;
- ii. Análise das relações entre as variáveis-chave, empregando-se a ferramenta computacional MICMAC¹⁶;
- iii. Classificação das variáveis-chave segundo a influência e dependência entre elas;
- iv. Desenho do diagrama influência-dependência resultante da análise estrutural.

A análise estrutural permite descrever um sistema mediante a construção de uma matriz que relaciona todos os elementos constituintes desse sistema. Partindo desta descrição, essa ferramenta tem por objetivo explicitar as principais variáveis influentes e dependentes, consideradas essenciais à evolução do sistema. Neste estudo, realizaram-se duas reuniões com a participação de todos os membros da equipe técnica: a primeira para a identificação e descrição das variáveis-chave a serem cenarizadas, e a segunda para a análise das relações entre as variáveis-chave, como descrito a seguir.

Como resultado da primeira reunião, chegou-se a um conjunto de 14 variáveis-chave, sendo seis externas à questão orientadora e oito internas, como apresentado no Quadro 2.1.

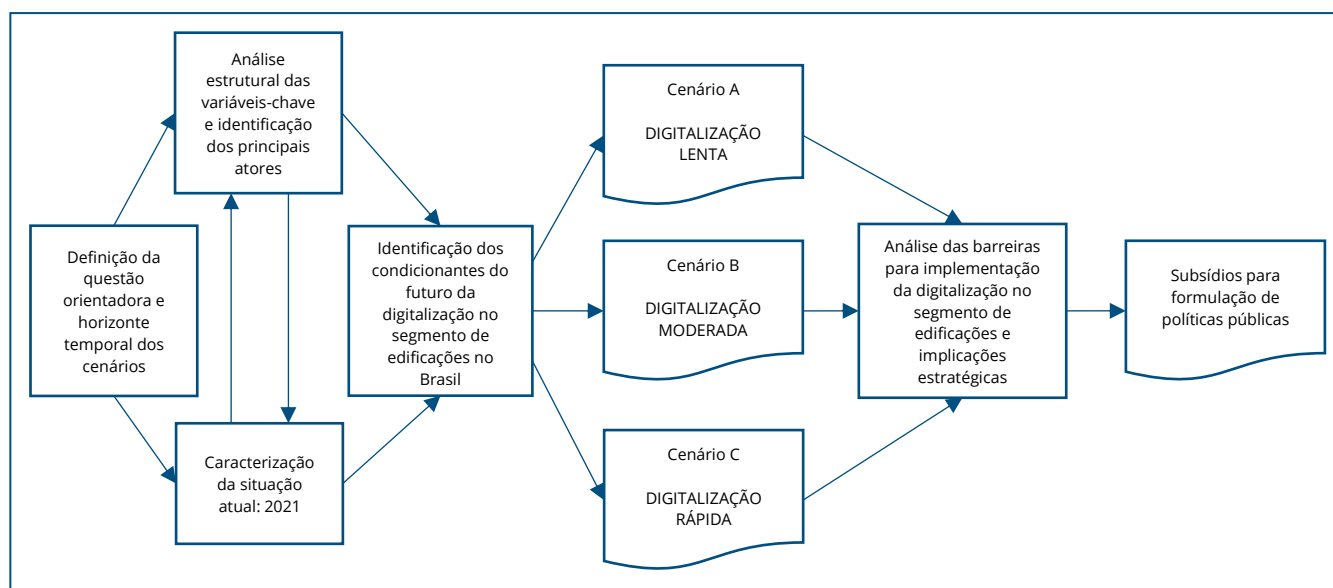


Figura 2.1 – Modelo conceitual para construção de cenários do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil. Fonte: Elaboração própria.

¹⁶ MICMAC (Matriz de Impactos Cruzados - Multiplicações Aplicadas a uma Classificação). Ferramenta computacional disponível em: <http://en.lapropective.fr/>.

Quadro 2.1 – Variáveis-chave dos cenários do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil – horizonte 2050. Fonte: Elaboração própria.

Variável-chave	Definição
Dinâmica da economia brasileira (ECON)	Evolução da produção de bens e serviços da economia brasileira, bem como a intensidade das relações e acordos internacionais e geração de emprego e renda.
Políticas públicas e programas de eficiência energética no país (POEE)	Políticas públicas para promoção do uso racional e eficiente de energia em diferentes segmentos da sociedade, com vistas a estabelecer um mercado autossustentável e autônomo de eficiência energética no Brasil.
Políticas públicas e instrumentos para digitalização no país (PODI)	Políticas públicas e instrumentos voltados para o desenvolvimento, adoção e difusão de soluções digitais nos diversos setores da economia no país.
Regulamentação para modernização do setor elétrico no país (RELE)	Regulamentação para a modernização do setor elétrico no país, orientada pela diretriz básica de levar energia elétrica aos consumidores de forma competitiva, zelando pela sustentabilidade da expansão, com a promoção da abertura do mercado e a eficiência na alocação de custos e riscos.
Políticas públicas habitacionais (POHA)	Políticas voltadas para produção de novas unidades habitacionais, visando o enfrentamento do déficit habitacional do país, incluindo regularização da situação fundiária de loteamentos e conjuntos, e para a Implantação de infraestrutura adequada e de equipamentos urbanos, incluindo digitalização no segmento de edificações.
Investimentos públicos e privados para digitalização (INDI)	Volume e distribuição dos investimentos de capital público e privado para digitalização em diversos setores da economia.
Normalização técnica e regulamentação aplicável à digitalização no segmento de edificações (NODI)	Regulamentação da digitalização no segmento de edificações e nível de emprego de normas técnicas correlatas aplicáveis ao segmento.
Capacitação multinível em soluções digitais para profissionais do segmento de edificações (CAPE)	Oferta de capacitação multinível em soluções digitais para profissionais do segmento de edificações.
Comportamento dos usuários quanto à eficiência energética e sustentabilidade de edificações (USEE)	Grau de aceitação (ou resistência) dos usuários quanto à implantação do conceito de eficiência energética e sustentabilidade das edificações.
Comportamento dos usuários quanto à digitalização de edificações e segurança cibernética (USDI)	Grau de aceitação (ou resistência) dos usuários quanto ao emprego de soluções digitais e de segurança cibernética em edificações.
Custos da digitalização no segmento de edificações (CUST)	Custos de aquisição, implementação e operação de soluções digitais no segmento de edificações.
Mercado brasileiro de edificações eficientes (MREE)	Evolução do mercado de edificações eficientes no Brasil em um determinado período.
Digitalização no segmento de edificações no país (DIGI)	Ritmo e velocidade da implementação de soluções digitais no segmento de edificações no país por fase do ciclo de vida.
Potencial do aumento da eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no país (EEDI)	Potencial do aumento da eficiência energética no segmento de edificações decorrente da implementação de soluções digitais no horizonte considerado.

Segundo uma perspectiva sistêmica, uma variável só existe por meio das relações que mantém com as outras variáveis. Desse modo, a análise estrutural procura identificar as relações existentes entre as variáveis, utilizando-se uma matriz de dupla entrada denominada matriz de análise estrutural. O preenchimento qualitativo dessa matriz foi realizado pela equipe técnica na segunda reunião de análise estrutural, da seguinte forma: para cada par de variáveis, colocaram-se as questões seguintes - existe uma relação de influência direta entre a variável i e a variável j ? Se não, atribui-se uma notação de 0; caso

contrário, perguntou-se se esta relação de influência direta era fraca (1), média (2) ou forte (3).

Assim, com o suporte da ferramenta computacional MICMAC, chegou-se a uma matriz de influência direta das variáveis-chave (Figura 2.2). Para verificação da influência indireta das variáveis-chave, procedeu-se a multiplicações sucessivas da matriz de influência direta por ela mesma até que a sequência de ordenamento das variáveis permanecesse estável.

A comparação da hierarquia das variáveis nas diferentes classificações (direta e indireta) revelou variáveis-chave que, devido à sua influência indireta sobre outras, desempenham um papel preponderante não percebido na classificação direta. Assim, pela análise estrutural, chegou-se à classificação das 14 variáveis-chave, segundo seu grau de influência e dependência. O diagrama influência-dependência apresentado na Figura 2.3 refere-se à matriz de influência indireta.

Como pode ser observado na Figura 2.3, as variáveis foram agrupadas em cinco categorias:

- i. Variáveis determinantes ou forças-motrizes;
- ii. Variáveis do entorno;
- iii. Variáveis de ligação;
- iv. Variáveis reguladoras;
- v. Variáveis de resultado.

Variáveis determinantes ou forças-motrizes: Situam-se no quadrante superior esquerdo do diagrama influência-dependência. São as variáveis de maior relevância para explicar a evolução da questão objeto da cenarização juntamente com a análise dos condicionantes do futuro a elas associadas, a saber:

- Dinâmica da economia brasileira (ECON);
- Políticas públicas e instrumentos para digitalização no país (PODI);
- Investimentos públicos e privados para digitalização nos mais diversos setores da economia (INDI).

Variáveis do entorno: Localizam-se no quadrante superior esquerdo do diagrama influência-dependência, logo abaixo do conjunto das variáveis determinantes. Referem-se a questões relevantes do entorno complementares às variáveis determinantes:

- Políticas públicas e programas de eficiência energética no país (POEE);
- Políticas públicas habitacionais (POHA);
- Regulamentação para modernização do setor elétrico no país (RELE).

	1: ECON	2: POEE	3: PODI	4: RELE	5: POHA	6: INDI	7: NODI	8: CAPE	9: USEE	10: USDI	11: CUST	12: MREE	13: DIGI	14: EEDI
1: ECON	0	2	3	2	3	3	2	2	2	2	3	2	2	2
2: POEE	1	0	1	2	1	1	0	1	3	1	1	3	2	3
3: PODI	1	1	0	1	0	3	3	3	2	3	3	1	3	3
4: RELE	1	2	1	0	0	1	1	1	3	1	3	2	1	1
5: POHA	1	1	1	0	0	1	1	2	2	1	2	2	2	2
6: INDI	2	1	3	1	1	0	3	3	1	3	3	1	3	3
7: NODI	0	0	1	1	1	2	0	3	1	3	3	1	3	3
8: CAPE	0	0	0	0	0	1	2	0	3	3	2	2	3	3
9: USEE	0	1	1	1	0	0	1	1	0	2	2	3	2	2
10: USDI	0	1	1	1	0	2	2	3	2	0	2	2	2	2
11: CUST	1	1	2	1	1	3	3	3	1	3	0	1	2	2
12: MREE	1	1	1	1	1	0	0	1	2	1	1	0	1	1
13: DIGI	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
14: EEDI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

© LIPSOR-EPITA-MICMAC

Nota: Grau de influência varia de 0 a 3, sendo 0: nenhuma influência; 1: influência fraca; 2: influência moderada; e 3: influência forte.

Figura 2.2 – Matriz de influência direta das variáveis-chave dos cenários. Fonte: Elaboração própria.

Variáveis de ligação: localizam-se no quadrante superior direito e são variáveis de alta influência e alta dependência. Referem-se a:

- Custos da digitalização no segmento de edificações (CUST);
- Comportamento dos usuários quanto à digitalização de edificações e segurança cibernética (USDI);
- Normalização técnica e regulamentação aplicável à digitalização no segmento de edificações (NODI);
- Capacitação multinível em soluções digitais para profissionais do segmento de edificações (CAPI).

Variáveis reguladoras¹⁷: Variáveis localizadas na área central do diagrama influência-dependência, que exercem um papel regulador na evolução das variáveis de resultado. São elas:

- Comportamento dos usuários quanto à eficiência energética e sustentabilidade de edificações (USEE);
- Mercado brasileiro de edificações eficientes (MREE).

Variáveis de resultado: situam-se no quadrante inferior direito e são:

- Digitalização no segmento de edificações no país (DIGI);
- Potencial do aumento da eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no país (EEDI).

¹⁷ O termo “variáveis reguladoras” é muito empregado em estudos baseados na teoria de sistemas dinâmicos e refere-se àquelas variáveis que exercem um papel regulador na evolução das variáveis de resultado de um determinado sistema. Este termo não deve ser confundido com o termo usualmente empregado para regulação de atividades produtivas.

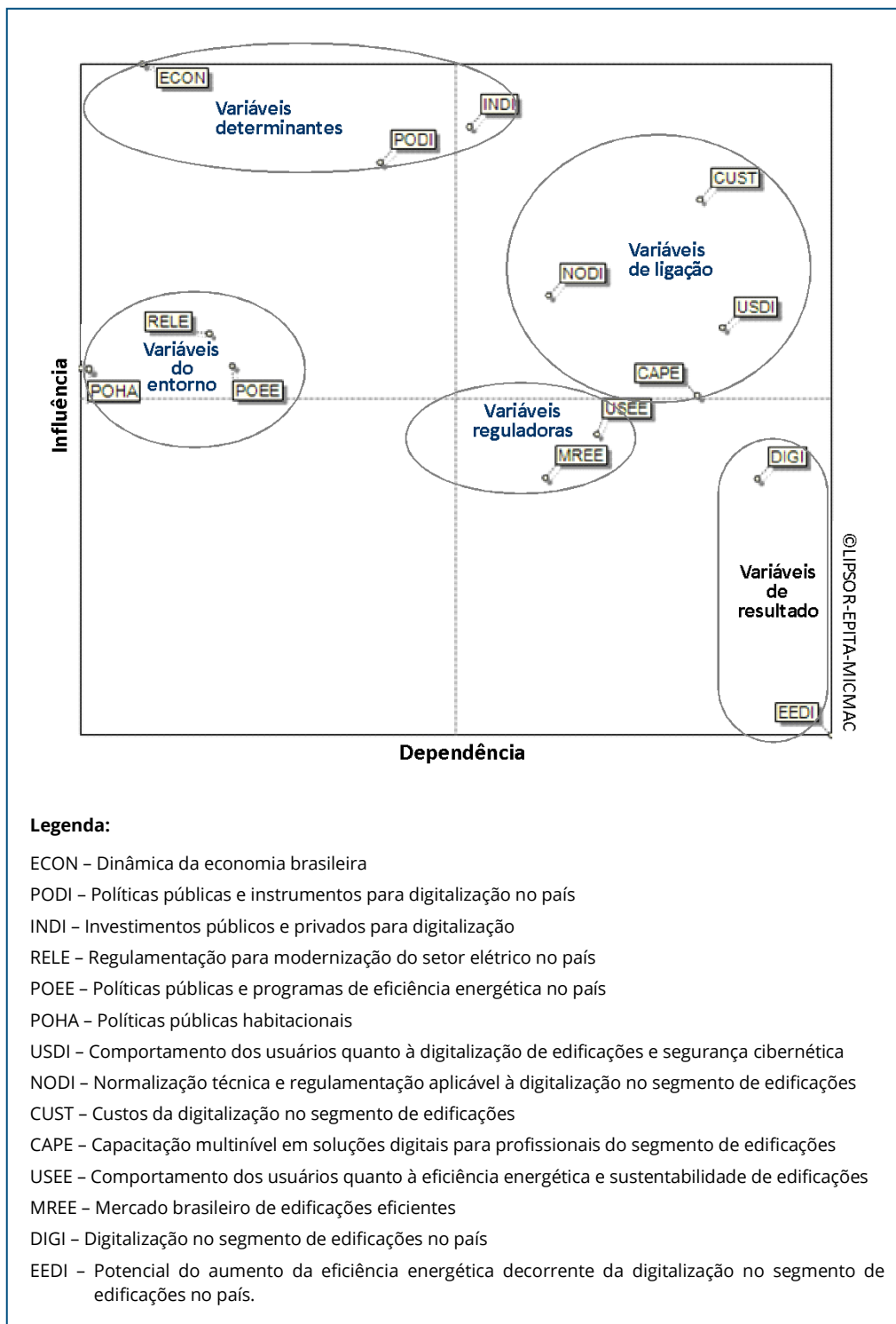


Figura 2.3 – Diagrama influência-dependência das variáveis-chave. Fonte: Elaboração própria.

2.4 Principais atores interessados e influenciadores dos cenários

Para a construção dos cenários do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil, no horizonte de 2050, foram realizadas duas análises diferenciadas dos atores sociais. Na primeira análise, buscou-se compreender a potência dos atores sobre a questão em foco, pela sua atuação e influência sobre as variáveis-chave, particularmente as variáveis determinantes ou forças-motrizes e as do entorno. Na segunda, analisaram-se as relações dos atores entre si, com o objetivo de entender a estrutura de poder como base para as recomendações apresentadas no Capítulo 4.

Os resultados das duas análises indicaram que o Ministério de Minas e Energia (MME), o Ministério da Economia (ME) e o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) constituem os mais importantes atores pela sua grande capacidade de influenciar o aumento da eficiência energética no segmento de edificações, decorrente da digitalização neste segmento (Figura 2.4).

Em um segundo patamar situam-se as agências reguladoras (ANATEL e ANEEL), os agentes financeiros (BNDES, Caixa Econômica, bancos públicos e privados) e órgãos da Administração Pública Municipal. As empresas da cadeia produtiva do segmento de edificações também possuem uma posição destacada na hierarquia, especialmente as construtoras e incorporadoras, os escritórios de arquitetura, engenharia e serviços de consultoria, bem como as administradoras prediais e os fornecedores de materiais e de equipamentos eletroeletrônicos.

Não menos importantes na hierarquia são os atores que atuam em variáveis-chave de ligação, como:

- i. Órgãos de normalização e certificação atuando na variável “Normalização técnica e regulamentação aplicável à digitalização no segmento de edificações” (NODI);
- ii. Universidades, escolas técnicas, centros de pesquisa, startups e aceleradoras influenciando a evolução da variável “Capacitação multinível em soluções digitais para profissionais do segmento de edificações” (CAPI);
- iii. Organizações do terceiro setor com interesse em eficiência energética e digitalização, influenciando o comportamento dos usuários das edificações;
- iv. Os usuários, pelo componente da conscientização quanto à eficiência energética e os benefícios do emprego de soluções digitais em seu dia-a-dia.

2.5 Situação atual: Digitalização e eficiência energética no segmento de edificações no Brasil em 2021

Sintetizam-se nesta seção os indicadores, eventos e mudanças em andamento referentes à situação da digitalização e eficiência energética no segmento de edificações no Brasil em 2021.

2.5.1 Dinâmica da economia brasileira (ECON)

Embora a previsão do Produto Interno Bruto (PIB) para ano de 2021 seja de 4,78% [6], nos últimos dois anos a economia praticamente ficou estagnada. Em 2020, o PIB teve uma retração de 4,1% [7]. Além disso, o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) tem uma expectativa de chegar aos 10,15% em 2021 [6], acima do teto da meta de inflação que é de 5,25% [8]. Este alto índice de inflação previsto é decorrente da alta inflação mundial, determinada pela retomada rápida da economia pós-crise do Covid-2019, o que fez com que o setor produtivo não conseguisse suprir a alta demanda por bens e serviços nos diversos países da economia global [8].

A alta da inflação no Brasil vem corroendo a renda das famílias. O rendimento médio das famílias brasileiras teve uma redução de 11% no terceiro trimestre de 2021, quando comparado com o mesmo período de 2020 [9]. Já a taxa de desocupação, considerando este mesmo período, teve um decréscimo de 2,2% [9].



Figura 2.4 – Mapa dos principais atores interessados e influenciadores dos cenários. Fonte: Elaboração própria.

Em relação aos acordos internacionais, especialmente no que concerne à Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) [10], o Brasil se comprometeu em 2015 na Conferência das Partes 2011 (COP21) a reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE) por meio da sua Contribuição Nacionalmente Determinada (sigla em inglês, NDC) [11]. No que refere ao setor de energia, o país se comprometeu até 2030 a expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia a partir de fonte hídrica) e alcançar 10% de ganhos de eficiência neste setor [11].

Recentemente, em dezembro de 2021, o Brasil transmitiu à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) a nova Contribuição Nacionalmente Determinada ao Acordo de Paris, aprovada na ocasião pelo Comitê Interministerial sobre a Mudança do Clima (CIM). A nova NDC brasileira reafirma o compromisso de redução em 37% das emissões líquidas totais de gases de efeito estufa em 2025 e assume oficialmente o compromisso de reduzir em 43% as emissões brasileiras até 2030 [12; 13].

Em relação à Agenda 2030 do Brasil, no que diz respeito aos indicadores relacionados ao sétimo Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS 7) – Energia acessível e limpa para todos – têm sido observadas melhorias, especialmente em função das políticas relacionadas à geração distribuída no Brasil [14; 15]. Todavia, para a melhoria dos indicadores de desigualdade social, como os índices Gini e de Palma, é necessário vencer grandes desafios para que as metas possam ser cumpridas, particularmente a redução da pobreza e da favelização das cidades brasileiras [14].

2.5.2 Políticas públicas e programas de eficiência energética no país (POEE)

As atuais políticas públicas e programas que podem contribuir para a promoção do uso racional e eficiente de energia em diferentes segmentos da sociedade, com vistas a estabelecer um mercado autossustentável e autônomo de eficiência energética no Brasil, são [1]:

- i. Programa Brasileiro de Etiquetagem;
- ii. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL);
- iii. Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET);
- iv. Plano Decenal de Eficiência Energética (PDEF);
- v. Programa de Eficiência Energética (PEE/ANEEL);
- vi. Lei da Eficiência Energética (10.295/2.001).

Em relação à etiquetagem de equipamentos, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), a cargo do Inmetro, PROCEL e CONPET, atualmente, é composto por 27

Programas de Avaliação da Conformidade em diferentes fases de implementação, contemplando desde a etiquetagem de produtos da linha branca, como fogões, refrigeradores e condicionadores de ar, até os veículos e as edificações [16].

Os três mecanismos de estímulo à utilização de produtos energeticamente eficientes (i.e., índices mínimos de eficiência energética, Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE e Selo PROCEL), que se articulam intrinsecamente, podem ser considerados instrumentos de política de eficiência energética com maior efetividade no Brasil, sendo responsáveis por grande parte dos resultados das ações do PROCEL em 2020 [17].

Não obstante os resultados alcançados até o momento, a certificação de edificações no Brasil é voluntária, sendo compulsória apenas para edificações do setor público federal.

2.5.3 Políticas públicas e instrumentos para digitalização no país (PODI)

Embora algumas políticas públicas e instrumentos voltados para o desenvolvimento, adoção e difusão de soluções digitais nos diversos setores da economia tenham sido adotadas no Brasil, a efetividade destes instrumentos ainda é muito baixa.

Uma das primeiras ações de digitalização focada em consumidores residenciais no Brasil ocorreu em 2003 com a instalação de medidores eletrônicos por uma distribuidora no Brasil. No entanto, somente em 2005 foi criada pela Aneel uma resolução sobre medição eletrônica [18]. Esta resolução permitiu a criação de dois instrumentos regulatórios para que um mecanismo de resposta à demanda fosse viabilizado – a Tarifa Branca.

O Decreto nº 9.612/2018 [19], que dispõe sobre as políticas públicas de telecomunicações (PPT), têm por objetivo promover a expansão do acesso à internet e a inclusão digital. Este Decreto define uma das bases do leilão de 5G. Esse leilão se realizou em novembro de 2021. Já o Decreto nº 9.854/2019 [20] instituiu o Plano Nacional de Internet das Coisas (IoT), que tem por finalidade implementar e difundir o uso da IoT no Brasil.

Em 2019, foi lançada a Câmara das Cidades 4.0, que é um fórum coordenado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) e pelo Ministério da Tecnologia e Inovações (MCTI), com participação de instituições públicas e privadas empresariais, governamentais e acadêmicas [21]. Além disso, uma iniciativa relevante foi a publicação em 2020 da “Carta Brasileira para Cidades Inteligentes” [19]. Por fim, vale destacar que se encontra em tramitação na Câmara dos Deputados o Projeto de Lei 976/2021, que estabelece a Política Nacional de Cidades Inteligentes (PNCI), visando estimular o desenvolvimento das cidades inteligentes no país [22].

2.5.4 Regulamentação para modernização do setor elétrico no país (RELE)

Desde que foram abertas as discussões sobre a regulamentação para a modernização do setor elétrico no país, por meio da Consulta Pública nº 33/2017 [23], pode-se afirmar que seu estágio de implementação ainda é baixo, apesar dos movimentos dos diversos agentes do setor elétrico no âmbito dos Grupos de Trabalho estabelecidos pelo Comitê de Implementação da Modernização do Setor Elétrico (CIM) [24]. Este novo marco do setor elétrico brasileiro pretende levar energia elétrica aos consumidores de forma mais competitiva, por meio da abertura escalonada do mercado, zelando pela sustentabilidade da expansão e pelo respeito aos contratos legados. Desta forma, busca-se garantir maior eficiência e segurança do sistema, além da otimização na alocação de custos e da mitigação dos riscos.

Em relação a algumas vertentes da modernização que poderão impactar o segmento de edificações, destaca-se o incentivo à expansão da gestão da demanda, que se encontra em um ritmo lento, apesar da legislação sobre Tarifa Branca. Já a regulamentação da geração distribuída, graças aos incentivos definidos na Lei 14.300/2022 [25], sua efetividade pode ser considerada moderada.

2.5.5 Políticas públicas habitacionais (POHA)

Na esfera das políticas públicas habitacionais vigentes no país, destaca-se o Programa Casa Verde e Amarela (PCVA), criado para substituir o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), com o objetivo de promover o direito à moradia a famílias residentes em áreas urbanas e rurais, facilitando o desenvolvimento econômico e a geração de trabalho, elevando os padrões de habitação e qualidade de vida aos brasileiros [26]. O Programa Casa Verde e Amarela atua com diversas modalidades – regularização fundiária, melhoria e produção habitacional financiada. Seu principal objetivo é permitir que a população de baixa renda passe a ter acesso à casa própria, melhorando a qualidade de vida dos brasileiros, que engloba todas as linhas de atendimento habitacional realizadas a partir de agosto de 2020, em continuidade ao Programa Minha Casa Minha Vida.

No âmbito do PCVA, foi lançada recentemente a Portaria nº 959/2021 [27], que dispõe sobre os requisitos para a implementação de empreendimentos habitacionais no âmbito da linha de atendimento “Aquisição subsidiada de imóveis novos em áreas urbanas, integrante do Programa Casa Verde e Amarela. Dentre os requisitos de execução da obra, destacam-se o desenvolvimento do projeto do empreendimento conforme a metodologia *Building*

Information Modelling (BIM), cumprindo as normas técnicas brasileiras vigentes sobre o tema, e a utilização de ferramenta para cálculo da emissão de carbono para avaliação das emissões de gases efeito estufa (GEE). Com relação aos requisitos de concepção do projeto, destaca-se a certificação do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE Edifica, BREEAM, LEED, AQUA ou Selo Casa Azul + CAIXA. Assim como foi no PMCMV, instituições que desejam empreender no programa têm que cumprir a exigência de adesão ao Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H). A Portaria ressalta ainda que na ausência de Programa Setorial de Qualidade (PSQ)/PBQP-H para um produto ou componente, devem ser utilizados aqueles que tenham certificação emitida por Organismos de Certificação de Produto (OCP) acreditados pelo Inmetro [27].

Destaca-se ainda o papel do Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social – SNHIS, instituído pela Lei nº 11.124/2005 [28], que tem por objetivo implementar políticas e programas que promovam o acesso à moradia digna para a população de baixa renda, que compõe a quase totalidade do déficit habitacional do país. Além disso, esta Lei instituiu o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social – FNHIS, que centraliza os recursos orçamentários dos Programas de Urbanização de Assentamentos Precários e de Habitação de Interesse Social, inseridos no SNHIS.

Em função da conjuntura econômica do país nos últimos três anos, observou-se aumento do déficit habitacional, que chegou a 5,877 milhões de moradias em 2019 [29]. O alto valor do aluguel urbano responde por mais de metade do déficit habitacional no país, cerca de 3,036 milhões de moradias. Este índice chegou a cair entre 2017 e 2018, mas voltou a subir em 2019.

2.5.6 Investimentos públicos e privados para digitalização (INDI)

Atualmente, o volume de investimentos para digitalização em diversos setores da economia advém predominantemente da iniciativa pública. O governo federal, por meio do Ministério da Economia, vem investindo na transformação digital no setor público, com o objetivo de oferecer serviços de qualidade, mais ágeis e menos burocráticos. Até o momento, mais de 1.500 serviços públicos foram digitalizados [30].

Com o leilão do 5G, o governo federal arrecadou R\$ 47,2 bilhões, confirmando-se as expectativas do governo e do mercado [31]. Todavia, este volume de investimento em infraestrutura, essencial para a digitalização do país, só começará a ser aplicado a partir de 2022.

2.5.7 Normalização técnica e regulamentação aplicável à digitalização no segmento de edificações (NODI)

O nível atual da normalização técnica e regulamentação da digitalização no segmento de edificações no Brasil encontra-se em estágio embrionário. Diretamente relacionada ao setor, pode-se citar a Norma ABNT NBR 15965-1:2011 referente ao sistema de classificação da informação da construção [32]. Embora esta Norma já tenha 10 anos de existência, sua adoção ainda é baixa no segmento de edificações no país. Outra norma importante é a Norma ABNT NBR ISO/IEC 27701:2019 [33], que se refere às técnicas de segurança para gestão da privacidade da informação – requisitos e diretrizes. Esta Norma está em linha com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), Lei nº 13.709/2018 [34].

2.5.8 Comportamento dos usuários quanto à eficiência energética e sustentabilidade de edificações (USEE)

O comportamento dos usuários quanto à eficiência energética e sustentabilidade de edificações pode variar conforme a tipologia de edificação. Nas edificações residenciais, conforme os dados da última Pesquisa de Posses e Hábitos (PPH) 2019, a grande maioria dos entrevistados afirmou que adota sempre, ou normalmente, medidas de economia de energia em suas residências [35]. Esta pesquisa se limitou a entender o comportamento dos usuários em suas residências. Todavia, um dado chama a atenção, pois embora 81% dos usuários dissessem que gostariam de receber algum tipo de informação sobre como conservar energia, apenas 41% disseram receber tais informações [35]. Isso mostra que há uma disposição dos usuários a se informar sobre eficiência energética, mas desconhecem meios para receber tais informações. Pode-se especular que, estes usuários, se informados fossem, teriam comportamentos favoráveis ao aumento da eficiência energética em suas residências.

2.5.9 Comportamento dos usuários quanto à digitalização de edificações e segurança cibernética (USDI)

Ainda é incipiente a adoção de tecnologias digitais nas edificações do Brasil e, por consequência, o comportamento dos usuários quanto à digitalização pode ser considerado indiferente ou até com certa resistência ao emprego dessas tecnologias, devido a questões de insegurança cibernética. Apesar disso, os medidores inteligentes de energia elétrica, em sua versão mínima, podem fornecer os dados de consumo das últimas horas, dias, semanas, meses ou ano. Embora utilizados por algumas distribuidoras no Brasil como estratégia de redução de perdas não técnicas, não há interfaces de fácil acesso nesses medidores, que utilizem sistemas BMS

(*Building Management/Control System*) e assistentes virtuais. Não obstante tenham chegado ao mercado alguns aparelhos com sensores, que habilitam comunicação com as unidades consumidoras de energia, a adoção de tais equipamentos ainda é muito baixa no país.

Especialmente em relação à segurança cibernética, cada vez mais usuários se preocupam com a segurança dos seus dados. Nesse contexto, a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) foi promulgada para proteger os direitos fundamentais de liberdade e de privacidade e a livre formação da personalidade de cada indivíduo [34]. A Lei fala sobre o tratamento de dados pessoais, dispostos em meio físico ou digital, feito por pessoa física ou jurídica de direito público ou privado, englobando um amplo conjunto de operações que podem ocorrer em meios manuais ou digitais.

2.5.10 Custos da digitalização no segmento de edificações (CUST)

Os custos da digitalização no segmento de edificações são muito difíceis de serem estimados. Além disso, o grau de adoção das tecnologias digitais neste segmento é ainda muito baixo no país, sendo poucos os exemplos da digitalização no segmento de edificações. Assim, para a disseminação do uso de tecnologias digitais neste segmento, são exigidos grandes volumes de investimento a serem feitos por agentes do setor público ou privado. Tais investimentos seriam, em teoria, compensados e superados pelos ganhos de eficiência e, de uma forma mais geral, pelo valor acrescentado que a digitalização traz. No entanto, os benefícios proporcionados pelas tecnologias digitais muitas vezes não são evidentes para quem vai investir [36], sendo, portanto, um gargalo para a entrada da maioria das tecnologias digitais com aplicação no segmento de edificações no mercado nacional [37].

2.5.11 Mercado brasileiro de edificações eficientes (MREE)

A obrigatoriedade de etiquetagem de eficiência energética em edificações no Brasil é exclusiva para o setor público federal, conforme Instrução Normativa nº 2/2014, do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão [38]. As demais tipologias de edificações (residencial uni e multifamiliar, pública, comércio e serviço) não têm obrigatoriedade de etiquetagem de eficiência energética. Se o empreendedor optar pela etiquetagem, deve ser realizada a etiquetagem das fases de projeto e de edificação construída, que se aplicam para edifícios novos ou reformas. Não há ainda etiqueta para a fase de operação da edificação.

Pelo fato de a etiquetagem de eficiência energética em edificações não ser compulsória no país, o crescimento deste mercado ainda é muito baixo. Em 2018, apenas 224 edificações comerciais, de serviços e públicas foram etiquetadas (93 relativas a edificações construídas) e somente 5.356 etiquetas residenciais emitidas para unidades habitacionais autônomas [39]. No entanto, cabe ressaltar que algumas instituições financeiras já possuem linhas de crédito com redução de juros para financiamento com certificação (a Caixa Econômica Federal, por exemplo).

2.5.12 Digitalização no segmento de edificações no país e eficiência energética (DIGI) (EEDI)

Em nível internacional, a indústria da construção civil se situa entre os setores produtivos menos digitalizados e a realidade nacional acompanha o mesmo quadro [40]. Ressalta-se que a revolução está a caminho, dado o momento de transição tecnológica, em que as tecnologias estão disponíveis, mas ainda não são amplamente utilizadas, posicionando a modelagem *Building Information Modelling* (BIM) como um potencial *hub* de comunicação entre tecnologias e soluções digitais [41], em sintonia com a Estratégia Nacional para a Disseminação do *Building Information Modelling* (BIM), instituída em 2018 pelo Governo Federal.

Hoje é ainda baixo o grau de digitalização no segmento de edificações no Brasil, especialmente em função dos altos custos de investimento e da dificuldade de se estimar os benefícios proporcionados pelas tecnologias digitais neste segmento. Soluções digitais em edificações vêm sendo aplicadas fundamentalmente nas edificações comerciais e de serviços de perfil corporativo.

A título de ilustração, no Capítulo 3, apresentam-se quatro estudos de caso, buscando-se evidenciar o potencial do aumento da eficiência energética a partir da digitalização em edificações de diferentes tipologias e em fases distintas do ciclo de vida de edifícios.

2.6 Condicionantes do futuro

A identificação e classificação das variáveis-chave pela análise estrutural permitiu que fossem analisados e selecionados os condicionantes do futuro, ou seja, aqueles fenômenos relevantes que moldarão a evolução dos cenários mais prováveis do potencial de eficiência energética de edificações no Brasil, decorrente da digitalização no segmento em foco.

Com base na análise da situação atual (2021), na experiência da equipe e nos resultados das entrevistas semiestruturadas conduzidas junto a especialistas no decorrer do mês de novembro de 2021, foram identificados 22 condicionantes do futuro, sendo onze condicionantes político-regulatórios e onze não regulatórios. Apresentam-se, a seguir, os condicionantes selecionados nesta etapa, com a caracterização sintética do processo identificado.

2.6.1 Condicionantes político-regulatórios

Integração das políticas públicas e mecanismos de eficiência energética e continuidade do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL

Considera-se de fundamental importância para os cenários do potencial de aumento da eficiência energética no segmento de edificações, decorrente da digitalização no período de 2022 a 2050, a integração das políticas públicas e mecanismos de eficiência energética existentes¹⁸ e a continuidade do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).

O PROCEL é um programa de governo, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pela Eletrobras, para promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício. As ações do PROCEL contribuem para o aumento da eficiência dos bens e serviços, para o desenvolvimento de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia e, além disso, postergam os investimentos no setor elétrico, mitigando, assim, os impactos ambientais e colaborando para um Brasil mais sustentável. Dentre os focos de atuação do PROCEL, salienta-se o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL Edifica), instituído em 2003 pela Eletrobras/PROCEL.

O Programa promove o uso racional da energia elétrica em edificações desde sua fundação, sendo que, com a criação do PROCEL Edifica, as ações foram ampliadas e organizadas com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação, etc.) nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente. O consumo de energia elétrica nas

edificações corresponde a aproximadamente 45% do consumo faturado no país. Estima-se um potencial de redução deste consumo em 50% para novas edificações e de 30% para aquelas que promoverem reformas que contemplem os conceitos de eficiência energética em edificações. Buscando o desenvolvimento e a difusão desses conceitos, o PROCEL Edifica atua em torno das seguintes vertentes: capacitação; tecnologia; disseminação; regulamentação; habitação e eficiência e planejamento [42].

Continuidade do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações – PBE Edifica

Outro importante condicionante político-regulatório dos cenários do potencial de aumento da eficiência energética no segmento de edificações no Brasil é a continuidade do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações – PBE Edifica. No seu âmbito, foram definidos os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e seus documentos complementares, como os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC) e os Manuais para aplicação do RTQ-C e do RTQ-R. Os RTQ-C e RTQ-R contêm os requisitos necessários para classificação do nível de eficiência energética das edificações. O RAC apresenta os procedimentos para submissão para avaliação, direitos e deveres dos envolvidos, o modelo da ENCE, a lista de documentos que devem ser encaminhados, modelos de formulários para preenchimento, dentre outros. É o documento que permite ao edifício obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Inmetro [43].

Recentemente, o Ministério da Economia/Inmetro aprovou em 09 de março de 2021 a nova Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), especificando os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética [44].

De acordo com a Portaria Definitiva da INI-C já aprovada, a emissão de etiquetas com base no novo método fica condicionada à publicação dos Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) para Eficiência Energética de Edificações, que contém o procedimento para tal. A proposta de texto da Portaria Definitiva referente aos Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética de Edificações, que se aplicam às edificações

¹⁸ Programa Brasileiro de Etiquetagem; Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL); Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET); Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf); Programa de Eficiência Energética (PEE/ANEEL); Lei da Eficiência Energética (10.295/2.001); Instrução Normativa SLTI nº 02/2014/MPOG.

comerciais, de serviços, públicas e residenciais – novas ou existentes – entrou em consulta pública em março de 2021, para que fossem apresentadas sugestões e críticas relativas ao texto proposto [44]. Já a Instrução Normativa Inmetro para edificações residenciais, e respectivo anexo do RAC referente à esta tipologia, encontram-se em desenvolvimento.

Implementação da Política Nacional de Mudança do Clima – PNMC e da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC)

A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) foi instituída em 2009 pela Lei nº 12.187, buscando garantir que o desenvolvimento econômico e social contribua para a proteção do sistema climático global [10]. De acordo com o Decreto nº 7.390/2010, que regulamenta a PNMC, a linha de base de emissões de gases de efeito estufa para 2020 foi estimada em 3,236 GtCO₂-eq.

O Senado aprovou o Projeto de Lei nº [6539/2019](#), modificando a Lei 12.187/2009 que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), para incluir os compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris, instrumento assinado em 2015 [12]. O Acordo estabeleceu metas para redução de emissão de gases de efeito estufa, a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em inglês), com o objetivo de manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2 °C em relação aos níveis pré-industriais.

Em dezembro de 2021, o Brasil transmitiu à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) a nova NDC ao Acordo de Paris, aprovada na ocasião pelo Comitê Interministerial sobre a Mudança do Clima (CIM). Tendo como base o ano de 2005, a NDC brasileira reafirma o compromisso de redução das emissões líquidas totais de gases de efeito estufa em 37% em 2025, e assume oficialmente o compromisso de reduzir em 43% as emissões brasileiras até 2030 [13]. A NDC também enuncia o objetivo indicativo do país de atingir a neutralidade climática – ou seja, emissões líquidas nulas – em 2060. Esse objetivo de longo prazo poderá ser revisto no futuro, em função do funcionamento dos mecanismos de mercado do Acordo de Paris.

Instrumentos facilitadores de acesso ao crédito para eficiência energética

Dentre os instrumentos facilitadores de acesso ao crédito para eficiência energética que poderão ser usados pelos agentes do segmento de edificações no Brasil, destaca-se o Fundo Garantidor para Crédito a Eficiência Energética (FGEnergia), criado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) com um aporte inicial de R\$ 30 milhões do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). A expectativa é

que o FGEnergia viabilize a geração de garantias para cerca de R\$ 200 milhões em projetos de eficiência energética em todo o Brasil [45].

Esses recursos não reembolsáveis serão usados no apoio a projetos de eficiência energética por meio da concessão de garantias. Poderão ser contemplados projetos de eficiência energética de diferentes setores da economia, incluindo o segmento de edificações. O mecanismo de garantias do Fundo prevê a cobertura de parte do risco dos agentes financeiros com essas operações, mediante a concessão de garantia que poderá chegar a 80% do crédito total e estará sujeita à validação de critérios técnicos do projeto relacionados à eficiência energética.

Propostas de mudanças no marco regulatório do setor elétrico

A Portaria MME nº 187, de 04 de abril de 2019, instituiu Grupo de Trabalho – GT para aprimorar propostas que viabilizem a Modernização do Setor Elétrico fundamentados nos pilares da governança, da transparência e da estabilidade jurídico-regulatória. O Grupo foi formado pelas seguintes unidades do MME: Secretaria Executiva (coordenadora dos trabalhos), Secretaria de Energia Elétrica, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, Assessoria Especial de Assuntos Econômicos e pela Consultoria Jurídica. A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, a Empresa de Pesquisa Energética – EPE e o Operador Nacional do Sistema – ONS também participaram das reuniões do grupo de trabalho, que ocorreram semanalmente, assim como representantes da sociedade civil, associações e especialistas de outros órgãos e entidades, que foram convidados a participar das reuniões. Após a finalização dos trabalhos, o Grupo apresentou ao Ministro de Minas e Energia um Plano de Ação e propostas de atos normativos pertinentes à modernização, apontando para a necessidade de implementação de medidas de curto, médio e longo prazos (88 ações divididas em 15 frentes de atuação). Dentre as propostas, destaca-se a Portaria MME nº 403, assinada em 29 de outubro de 2019, que instituiu o Comitê de Implementação da Modernização – CIM [46].

Política Nacional de Cidades Inteligentes (PNCI)

A Comissão de Desenvolvimento Urbano da Câmara dos Deputados aprovou a proposta do Projeto de Lei nº 976/21, que estabelece uma política para estimular o desenvolvimento no Brasil das chamadas cidades inteligentes, que aproveitam tecnologias de última geração na gestão do espaço urbano e no relacionamento com os cidadãos. O texto tramita na Câmara dos Deputados. A proposta conceitua cidade inteligente como “espaço urbano orientado para o investimento em capital humano e social, o desenvolvimento econômico sustentável e o uso

de tecnologias disponíveis para aprimorar e interconectar os serviços e a infraestrutura das cidades, de modo inclusivo, participativo, transparente e inovador, com foco na elevação da qualidade de vida e do bem-estar dos cidadãos” [21].

Dentre os princípios que deverão reger as cidades inteligentes estão a inovação na prestação de serviços públicos, o respeito à privacidade, a sustentabilidade ambiental e a economia baseada no conhecimento. O objetivo final, segundo os autores do projeto, é tornar os serviços públicos mais eficientes e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos. Com base na Política Nacional de Cidades Inteligentes (PNCI), os municípios deverão adotar planos de cidade inteligente, devidamente aprovados por lei municipal e integrados ao plano diretor local, quando houver, ou Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado, no caso das regiões metropolitanas. Os cidadãos deverão participar da elaboração dos planos, indicando as transformações digitais que desejam ver implantadas nas suas cidades.

Visando facilitar o trabalho dos municípios, a União disponibilizará repositório de soluções destinadas ao desenvolvimento das cidades inteligentes. As cidades que adotarem essas soluções terão prioridade no acesso à assistência técnica e financeira prestada pelo governo federal. Também terão prioridade os municípios que possuírem programas periódicos de capacitação de gestores públicos. Os recursos financeiros virão do Fundo Nacional de Desenvolvimento de Cidades Inteligentes (FNDCI). O fundo será administrado por um Conselho Diretor, que terá caráter gerencial e normativo, e contará com representantes do governo federal, governos estaduais e municipais, trabalhadores, empresários e da comunidade científica e tecnológica, entre outros [21].

Revisão do Plano Nacional de Habitação com vigência esperada até 2040 (PlanHab 2040)

O Governo Federal, por meio do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), iniciou no decorrer de 2021 uma série de diálogos para a construção do Plano Nacional de Habitação, com vigência esperada até 2040 (PlanHab 2040) [47]. O instrumento servirá de base para o planejamento e a implementação da política habitacional do Governo Federal nas próximas duas décadas. O processo de elaboração do PlanHab 2040 deverá ser finalizado em 2022. Até lá, serão formulados e debatidos estudos técnicos e proposições para a implementação e monitoramento de medidas e mecanismos para abordar a questão da moradia nas diferentes regiões do país, com a contribuição de agentes da cadeia produtiva, da sociedade civil e de governos locais. O PlanHab 2040 configura-se assim como um instrumento dinâmico de planejamento da política pública de habitação no Brasil, baseado em um processo técnico que permita mapear os principais gargalos do setor habitacional no país, assim como desenhar cenários futuros de planejamento.

Por outro, adota uma perspectiva de suporte e consulta à extensa rede de atores envolvidos com a temática no país [47].

Um dos desafios na elaboração do PlanHab 2040 será a abordagem da sustentabilidade de forma transversal. Em consonância com os Objetivos e Metas do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e da Nova Agenda Urbana, o PlanHab 2040 deverá promover propostas e ações para um habitat com equilíbrio socioambiental.

Estratégia Nacional de Inovação

A Estratégia Nacional de Inovação, publicada em julho de 2021, tem por objetivo de trazer um novo paradigma para a gestão governamental, buscando aumentar a coesão, a sinergia e a efetividade das políticas voltadas à inovação. A Estratégia, composta de objetivos, metas e iniciativas organiza as prioridades governamentais e forma a base para a elaboração dos planos de ação. Complementando o processo, os grupos técnicos vinculados à Câmara de Inovação construíram cinco planos de ação temáticos, um para cada eixo da política de inovação. São eles:

- i.** Fomento;
- ii.** Base tecnológica;
- iii.** Educação;
- iv.** Mercado para produtos e serviços inovadores;
- v.** Cultura da inovação.

Os planos são compostos de ações - novas e em andamento - que ofereçam resultados concretos até o final de 2022. Cabe ressaltar a transversalidade dos planos, que receberam contribuições de todos os órgãos da Câmara de Inovação, com cerca de 80 servidores participando diretamente das reuniões dos grupos, além de vários outros que ofereceram relevantes subsídios ao processo [48].

Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais no Brasil

A Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 [34], dispõe sobre o tratamento de dados pessoais, inclusive nos meios digitais, por pessoa natural ou por pessoa jurídica de direito público ou privado, com o objetivo de proteger os direitos fundamentais de liberdade e de privacidade e o livre desenvolvimento da personalidade da pessoa natural. Não obstante sejam citadas regras de governança e boas práticas na LGPD brasileira, as questões de tratamento de dados de medições sistemáticas de consumo, garantias da privacidade e direcionamentos para o controle e gerenciamento do uso de dados no contexto de sistemas de telecomunicações e de energia associados ainda precisam ser estabelecidas. Precisam ser caracterizadas

condições de privacidade e autorizações de uso para dados que necessitem de avaliação de forma sistemática para a tomada de decisão, por exemplo, para garantir uma gestão da estabilidade local da energia quando existem muitos prosumidores conectados [34].

Implementação da Estratégia Nacional de Disseminação de BIM no Brasil

Por meio da publicação do Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018, o governo federal oficializou a Estratégia Nacional para a Disseminação do *Building Information Modelling* (BIM), ou Estratégia BIM BR, com o propósito de promover um ambiente adequado ao investimento em BIM e sua difusão no Brasil [49]. Dentre as metas estabelecidas, destaca-se a de aumentar em 10 vezes a implantação do BIM, de forma que 50% do PIB da construção civil tenha adotado a metodologia até 2024. Atualmente, 9,2% das empresas do setor da construção (que correspondem a 5% do PIB do setor) utilizam o BIM em suas rotinas de trabalho, de acordo com pesquisa e estudos da Fundação Getúlio Vargas (FGV) [49].

A proposta da Estratégia BIM BR é que a exigência do BIM nas compras do Poder Público seja feita de forma escalonada, para conferir tempo de adaptação ao mercado e ao setor público. Desse modo, os prazos para implementação foram: **a partir de janeiro de 2021**, a exigência de BIM se dará na elaboração de modelos para a arquitetura e engenharia nas disciplinas de estrutura, elétrica, e hidráulica e de Aquecimento, Ventilação e Condicionamento de Ar (AVAC) na detecção de interferências, na extração de quantitativos e na geração de documentação gráfica a partir desses modelos; **a partir de janeiro de 2024**, os modelos deverão contemplar algumas etapas que envolvem a obra, como o planejamento da execução da obra, na orçamentação e na atualização dos modelos e de suas informações como construído (*as built*). Além das exigências da primeira fase; **a partir de janeiro de 2028**, passará a abranger todo o ciclo de vida da obra ao considerar atividades do pós-obra. Deverá ser aplicado, no mínimo, nas construções novas, reformas, ampliações ou reabilitações, quando consideradas de média ou grande relevância, nos usos previstos na primeira e na segunda fase e, além disso, nos serviços de gerenciamento e de manutenção do empreendimento após sua conclusão [49].

Utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizadas pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal

No âmbito da Estratégia BIM BR, o Decreto nº 10.306, de 02 de abril de 2020, estabeleceu a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de

engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal [50].

Para fins do disposto neste Decreto, BIM ou Modelagem da Informação da Construção é definido como o conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo, que sirva a todos os participantes do empreendimento, em qualquer etapa do ciclo de vida da construção. A implementação do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizados pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal deverá ocorrer de forma gradual, obedecidas as seguintes fases [50].

Primeira fase: a partir de 1º de janeiro de 2021, o BIM deverá ser utilizado no desenvolvimento de projetos de arquitetura e engenharia, referentes a construções novas, ampliações ou reabilitações, quando consideradas de grande relevância para a disseminação do BIM, nos termos do disposto no art. 10, e abrangerá, no mínimo:

- i. A elaboração dos modelos de arquitetura e dos modelos de engenharia referentes às disciplinas de estruturas, instalações hidráulicas, instalações de aquecimento, ventilação e ar condicionado e instalações elétricas;
- ii. A detecção de interferências físicas e funcionais entre as diversas disciplinas e a revisão dos modelos de arquitetura e engenharia, de modo a compatibilizá-los entre si;
- iii. A extração de quantitativos;
- iv. A geração de documentação gráfica, extraída dos referidos modelos.

Segunda fase: a partir de 1º de janeiro de 2024, o BIM deverá ser utilizado na execução direta ou indireta de projetos de arquitetura e engenharia e na gestão de obras, referentes a construções novas, reformas, ampliações ou reabilitações, quando consideradas de grande relevância para a disseminação do BIM e abrangerá, no mínimo:

- i. Os usos previstos na primeira fase;
- ii. A orçamentação, o planejamento e o controle da execução de obras;
- iii. A atualização do modelo e de suas informações como construído (*as built*), para obras cujos projetos de arquitetura e engenharia tenham sido realizados ou executados com aplicação do BIM.

Terceira fase: a partir de 1º de janeiro de 2028, o BIM deverá ser utilizado no desenvolvimento de projetos de arquitetura e engenharia e na gestão de obras referentes a construções novas, reformas, ampliações e reabilitações, quando consideradas de média ou grande relevância para a disseminação do BIM e abrangerá, no mínimo:

- i. Os usos previstos na primeira e na segunda fase;
- ii. O gerenciamento e a manutenção do empreendimento após a sua construção, cujos projetos de arquitetura e engenharia e cujas obras tenham sido desenvolvidos ou executados com aplicação do BIM [50].

2.6.2 Condicionantes não regulatórios

Déficit habitacional principalmente nos grandes centros urbanos

O déficit habitacional em todo o Brasil está em 5,8 milhões de moradias, de acordo com os dados revisados pela Fundação João Pinheiro em parceria com o Ministério do Desenvolvimento Regional, ano base de 2019, concentrado nos grandes centros urbanos [29]. O estudo também apresenta uma tendência de aumento no déficit. Uma das causas para esse crescimento é o ônus excessivo com aluguel urbano, hoje caracterizado como o principal componente do déficit. Nos quatro anos considerados pelo estudo, o número de casas desocupadas por conta do valor alto do aluguel saltou de 2,814 milhões em 2016 para 3,035 milhões em 2019. A quantidade de residências que apresentam algum tipo de inadequação chega a mais de 24,8 milhões [29]. Esse indicador inclui características de infraestrutura urbana, como falta de abastecimento de água, de esgotamento sanitário, de energia elétrica e de coleta de resíduos sólidos. Além de inadequações edilícias, como a falta de espaço de armazenamento, ausência de banheiro, cobertura e piso inadequados, entre outros.

O Plano Nacional de Habitação, com vigência esperada até 2040 (PlanHab 2040) será o instrumento de base para o planejamento e a implementação da política habitacional do Governo Federal nas próximas duas décadas. A efetiva implementação do PlanHab 2040 impulsionará a evolução do setor da construção civil no que se refere à oferta de moradias, principalmente para uma classe social de menor poder aquisitivo. Moldará todo o setor habitacional, com a possibilidade de promover uma série de avanços em padronização e normalização de materiais e serviços, inclusão de tecnologias digitais nas fases de projeto e construção, entre outros [47].

Cabe ressaltar que a recente Portaria nº 959/2021, do Ministério do Desenvolvimento Regional, induz a inclusão de tecnologias digitais em HIS, particularmente o emprego da metodologia BIM [27]. Também o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), do Governo Federal, busca garantir dois pontos fundamentais nas HIS: a qualidade, com obras marcadas pela segurança e durabilidade, e a produtividade do setor da construção a partir da sua modernização [51].

Digitalização crescente em diversos setores da economia do país, incluindo o segmento de edificações

A Estratégia de Governo Digital 2020-2022, instituída a partir do Decreto nº 10.332, de 28 de abril de 2020 [52], estabelece, entre as suas metas, a digitalização de 100% dos serviços públicos no âmbito federal e ações que simplifiquem a vida do cidadão também nos estados e municípios, já contando com cerca de 115 milhões de usuários cadastrados na plataforma gov.br. Setenta e três órgãos federais foram envolvidos e, até o momento, cerca de 90% das ações previstas foram entregues [53], alçando o Brasil o posto de 7º país com alta maturidade em Governo Digital no mundo, conforme relatório do Banco Mundial publicado em 2021 [54].

No que se refere ao setor privado, um estudo recente intitulado “Raio-X da transformação digital no Brasil em 2021” apontou que 45,7% das empresas brasileiras já estão implementando uma estratégia de transformação digital, enquanto 30,5% estão atualmente desenvolvendo uma estratégia e apenas 1,9% não possuem planos para a digitalização [55]. O ano de 2020 foi essencial para impulsionar o mercado, por conta do impacto da pandemia do Covid-19, levando a mudanças no comportamento do consumidor, bem como à democratização de tecnologias digitais.

Em particular, no que tange o emprego de soluções digitais por micro, pequenas e médias empresas, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae), aponta que 70% dos micro e pequenos negócios incluíram a internet como ferramenta de potencialização de vendas, e 23% lançaram um site próprio como canal de vendas durante a pandemia do Covid-19 [56]. No último ano, ocorreu uma forte aceleração da taxa de empreendedorismo por necessidade, com mais de 14 milhões de novos negócios, de acordo com o relatório *Global Entrepreneurship Monitor* (GEM) 2020 fundamentalmente baseados em plataformas digitais [56].

No segmento de edificações, a digitalização ainda cresce em um ritmo lento, embora alguns pontos de maturidade comecem a ser observados. A exemplo da metodologia BIM, que começa gradualmente a ser implementada em maior escala, principalmente nas fases de projeto e reforma, impulsionada por aspectos regulatórios, econômicos e tecnológicos. A evolução natural dos aplicativos, assistentes virtuais e equipamentos dotados de inteligência também pode aumentar significativamente o avanço da digitalização no segmento de edificações, principalmente nas tipologias residencial, comercial e de serviços de pequeno porte.

Desenvolvimento tecnológico e oferta das soluções digitais no país

Uma pesquisa detalhada sobre o *status quo* do desenvolvimento tecnológico e da oferta das soluções digitais no país foi conduzida na primeira fase deste estudo [2, 57, 58]. Com base nessa pesquisa, a Figura 2.5 retrata o estágio de desenvolvimento tecnológico e da oferta das 20 soluções digitais abordados e serviços a elas associados, por fase do ciclo de vida das edificações.

É importante notar que a oferta, por si só, não é equivalente à adoção ampla das tecnologias, bem como é imprescindível esclarecer que o processo de digitalização não se restringe às tecnologias ora citadas, dado que

pesquisa, desenvolvimento, evolução e inovação são contínuos. Contudo, a oferta de tecnologias e serviços é inquestionavelmente um condicionante para a digitalização das edificações, direcionando os esforços de estímulo à sua adoção para outros condicionantes, como o suprimento da falta de mão-de-obra especializada, os incentivos ou a redução dos custos (principalmente de implementação), a criação de modelos de negócio que favoreçam a democratização, a percepção de valor por parte dos consumidores, entre outros fatores necessários para a sua maturidade. Ou seja, as indicações de desenvolvimento e disponibilidade, ainda que não apontem a adoção concreta, representam um vetor de tendência e convidam à análise das barreiras específicas.

Solução digital	Projeto	Construção	Operação	Reforma	Demolição
Modelagem da Informação da Construção (BIM)	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente
Modelagem Energética da Edificação (BEM)	Disponível comercialmente	Indisponível	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Indisponível
Modelagem Energética Urbana (UBEM)	Disponível comercialmente	Indisponível	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Indisponível
Fluidodinâmica computacional (CFD)	Disponível comercialmente	Indisponível	Indisponível	Disponível comercialmente	Indisponível
Simulação de iluminação natural e artificial	Disponível comercialmente	Indisponível	Indisponível	Disponível comercialmente	Indisponível
Sistemas de Gestão de Portfólio Energético	Disponível comercialmente	Indisponível	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Indisponível
Softwares para Avaliação do ciclo de vida (ACV)	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente
Impressão 3D	Indisponível	Em desenvolvimento	Indisponível	Em desenvolvimento	Indisponível
Realidade Aumentada	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente
Blockchain	Em desenvolvimento	Em desenvolvimento	Em desenvolvimento	Em desenvolvimento	Em desenvolvimento
Softwares de Gerenciamento Ágil	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Indisponível	Disponível comercialmente	Indisponível
Sistema de Gestão Predial (BMS)	Indisponível	Em desenvolvimento	Disponível comercialmente	Indisponível	Indisponível
Sensores, atuadores e interruptores inteligentes	Indisponível	Indisponível	Disponível comercialmente	Indisponível	Indisponível
Interface de Iluminação Digital Endereçável (DALI)	Indisponível	Indisponível	Disponível comercialmente	Indisponível	Indisponível
Fachadas Inteligentes e outros sistemas	Indisponível	Indisponível	Em desenvolvimento	Indisponível	Indisponível
Assistentes virtuais	Indisponível	Indisponível	Disponível comercialmente	Indisponível	Indisponível
Aplicativos e controles inteligentes	Indisponível	Indisponível	Disponível comercialmente	Indisponível	Indisponível
Tomadas inteligentes e carregadores de veículos elétricos	Indisponível	Indisponível	Disponível comercialmente	Indisponível	Indisponível
Equipamentos eletroeletrônicos inteligentes conectados à rede	Indisponível	Indisponível	Disponível comercialmente	Indisponível	Indisponível
Aplicativos de resposta à demanda, conscientização e gamificação	Indisponível	Indisponível	Em desenvolvimento	Indisponível	Indisponível
Computação em Nuvem	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Indisponível

Legenda: ■ Disponível comercialmente ■ Em desenvolvimento ■ Indisponível

Figura 2.5 – Desenvolvimento tecnológico e oferta de soluções digitais no Brasil. Fonte: [2, 57, 58].

Mercado crescente de tecnologias e serviços de segurança da informação e proteção de dados no país

O mercado global de segurança cibernética experimentará uma taxa média de crescimento anual de 12,5% no período de cinco anos e movimentará US\$ 403 bilhões até 2027. Os números, se confirmados, representarão um crescimento da receita de 228% na comparação com os US\$ 176,5 bilhões estimados para 2020 — o balanço do ano passado ainda está sendo consolidado [59].

No Brasil, de acordo com o relatório intitulado “2022 *Global Digital Trust Insights*”, publicado pela PwC, cerca de 83% das organizações empresariais devem aumentar o investimento em segurança cibernética em 2022, com o intuito de reduzir os frequentes ataques de *hackers* registrados durante a pandemia do Covid-19 [60]. O número de empresas que preveem um aumento nos gastos cibernéticos para o próximo ano é maior entre as companhias brasileiras, quando comparado a outras organizações do mundo.

Esta tendência já vinha sendo observada nos anos anteriores, mas se acentuou com a aceleração dos processos digitais das empresas e a obrigatoriedade do trabalho remoto, trazida pela pandemia do Covid-19, além da percepção de maior exposição a riscos cibernéticos.

Introdução da tecnologia 5G e expansão da malha 4G

A sigla 5G remete à quinta geração da comunicação celular. Esta tecnologia tem como característica comportar um volume crescente de informações que são trocadas diariamente entre diversos dispositivos ao redor do mundo. O grande destaque do 5G é a capacidade de operar na faixa de onda de milímetros (um espectro de frequência muito elevado, que varia de 24 a 100 GHz). Isso permite a transferência de dados de forma muito mais rápida que a atual e promete otimizar a velocidade de navegação de dispositivos móveis, como tablets e celulares. A ampliação da malha 5G impactará diretamente na implementação dos edifícios inteligentes e das chamadas “cidades inteligentes” com o oferecimento de novos produtos, serviços e possibilidades. Na prática, o 5G poderá contribuir amplamente para um mundo mais conectado e para a expansão da Internet das Coisas, visto que a solução permite que os dispositivos estabeleçam uma conexão estável e rápida entre si. O leilão do 5G ocorrido em novembro de 2021 introduzirá esta malha no país.

No Brasil, devido às suas características geográficas e de heterogeneidade econômica, torna-se importante também a expansão da atual malha 4G com parte dos investimentos já amortecidos para atender a parte da sociedade que não tem acesso à internet ou tem um acesso precário.

Tendência de padronização de processos, materiais e equipamentos no segmento de edificações

A padronização compreendida como o estabelecimento, a comunicação, a adesão e a melhoria de padrões que por sua vez, exige especificações inequívocas sobre processos, materiais e equipamentos no segmento de edificações. Ela constitui a base para o aumento da eficiência e eficácia dos processos produtivos, da redução de custos e desperdícios em toda cadeia da construção civil. A título de ilustração, a normalização de ensaios é primordial para a consistência de dados de desempenho energético de materiais que compõem a camada básica de tecnologia digital, como BIM que induzem projetos e construções mais eficientes energeticamente. Programas governamentais de habitação, como o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), que busca aumentar a qualidade e durabilidade das edificações de interesse social e a produtividade e modernização do setor da construção, enfatizam que os instrumentos de padronização são seus principais alicerces [51]. Exemplos desses instrumentos incluem o Sistema de Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras (SiAC); o Sistema de Qualificação de Empresas de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos (SiMAC); e o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais (SiNAT).

Tendência de projetos de edificações centrados no ser humano: *user-centric design*

Os projetos de edificações centrados no ser humano (*user-centric design*) baseiam-se em uma filosofia para a criação de produtos, serviços, *hardwares* e *softwares* que coloca o atendimento às necessidades específicas de clientes e usuários. A tendência é crescente mundialmente, na medida em que aumenta a probabilidade de criação de produtos mais amigáveis ou de projetos arquitetônicos mais confortáveis ou de produtos de acessibilidade para atender a uma deficiência específica ou necessidade de saúde [61].

As tecnologias digitais alinham-se a esta tendência em várias fases do ciclo de vida de uma edificação, seja na fase de projeto com simulações orientadas pelo comportamento do usuário, seja na operação com a utilização de tecnologias como adaptadores inteligentes, analisadores de energia, mecanismos de suporte à decisão consciente do ocupante e aplicativos móveis. Tais tecnologias melhoram diretamente as interações entre os ocupantes e os ativos consumidores de energia em seu ambiente [61].

Programas de Colaboração Tecnológica no âmbito da Agência Internacional de Energia (sigla em inglês, IEA) têm

discutido e criados condições para entender o comportamento dos usuários e transformar esse conhecimento em estratégias para melhorar o desempenho das edificações. Dentre os grupos de estudo em operação no momento, destacam-se o Anexo 79 e o Anexo 87 do Programa de Colaboração Tecnológica de Energia em Edificações e Comunidades (EBC-TCP). O primeiro tem por objetivo fornecer uma nova visão sobre o comportamento dos ocupantes relacionada ao conforto em edifícios e o impacto no seu desempenho energético. Busca promover ainda mais o uso desse conhecimento no projeto de construção e processos de operação, dando suporte a políticas, preparando propostas de normas e fornecendo orientações para as partes interessadas [62] [63]. Já o propósito do Anexo 87 é estabelecer critérios de projeto e diretrizes de operação para “sistemas de controle ambiental personalizados” (sigla em inglês, PECS) e quantificar os benefícios em relação à saúde, ao conforto e ao desempenho energético das edificações [64].

Inserção do tema digitalização nas grades curriculares de cursos profissionalizantes e ensino superior

A digitalização é um tema transversal que permeia todas as formações tanto no nível profissionalizante como ensino superior. Em edificações, se concentra a utilização de boa parte das tecnologias digitais quando se considera as diversas tipologias e fases do ciclo de vida das mesmas. No setor de construção civil, convivem dezenas de profissões distintas que presenciam o crescimento da utilização de tecnologias digitais e sua rápida evolução. Profissões consideradas de base não tecnológica são desafiadas a utilização crescente dessas soluções em prédios, condomínios e residências. Desta forma, torna-se premente que os profissionais, tanto de nível superior como de nível médio, se familiarizem com essas tecnologias e estejam abertos aos surgimentos de novas. O nível de conhecimento atua de certa maneira como um fator regulador da adoção dessas tecnologias. É comum o relato de processos de automação predial que não maximizaram seus ganhos devido à subutilização das soluções digitais implantadas. A inserção do tema de digitalização de uma forma mais contundente nas grades curriculares de cursos profissionalizantes e ensino superior contribuirá para a difusão de soluções digitais nos mais diversos setores em geral e em particular no segmento de edificações.

Um estudo recente, intitulado “Profissões do futuro na Área de Energia e Implicações para a Formação Profissional” [65], buscou sistematizar a pesquisa da demanda por formação profissional do setor produtivo e da oferta de qualificação por instituições de ensino, realizando uma análise de *matchmaking* com foco em ocupações futuras prioritárias na área de energia.

As análises focalizaram cinco principais áreas:

- i. Geração de energias renováveis;
- ii. Redes inteligentes de transmissão e distribuição;
- iii. Mobilidade elétrica;
- iv. Eficiência energética;
- v. Resposta da demanda.

Esta última área englobou mecanismos que permitem aos consumidores maior gerenciamento do uso da energia. O estudo apontou que as tendências de digitalização e informatização exigirão maior presença de profissionais com especialização em tecnologias digitais, como IoT, *Digital Twin*, *Big Data* e *Machine Learning*, bem como perfis nas áreas de automação e cibersegurança, controle e operação dos sistemas. Com a inserção de medidores inteligentes e outros equipamentos automatizados, surge uma massa gigantesca de dados, com dois perfis se tornando fundamentais: o cientista de dados, para coletar, analisar e filtrar os dados, e o profissional de segurança dos dados, visto que medidores inteligentes, por exemplo, traçam um perfil de consumo muito detalhado e específico dos consumidores. A oferta atual do Brasil ainda possui pouco enfoque em tratamento de grandes volumes de dados, e só mais recentemente cursos com enfoque em cibersegurança começaram a ser ofertados [65].

Criação de novos postos de trabalho relacionados a demandas digitais do segmento de edificações

As soluções digitais naturalmente exigem manutenção específica, ajustes, configurações, personalizações, mas, principalmente, requerem que as informações por elas coletadas sejam armazenadas e interpretadas, para que sejam tomadas ações específicas. A gestão de sistemas de gestão predial (BMS) requer profissionais com formação e de habilidades específicas para desempenhar este papel. Entretanto, com o aumento da disponibilidade de programas e sistemas passíveis de incorporação de inteligência artificial (IA), a partir do processamento de *Big Data* e *Machine Learning*, novos postos de trabalho relacionados a demandas digitais do segmento de edificações irão exigir profissionais com os perfis apontados em [65], como o cientista de dados, para coletar, analisar e filtrar os dados, e o profissional de segurança dos dados, a título de ilustração.

Estes são os profissionais aptos a estruturar e conceber construtos específicos de inteligência de dados adaptados ao edifício, que auxiliem a gestão remota dos seus sistemas por profissionais de gestão de recursos prediais, oferecendo análises preditivas e prescritivas a partir das informações coletadas pelos sensores presentes nos diferentes sistemas prediais e tomando decisões mais simples automaticamente.

Com suporte de inteligência artificial e recortes específicos de informações e análises automáticas disponíveis, os gestores de recursos em edifícios podem atuar remotamente e atender a diversos objetos simultaneamente, reduzindo-se assim os custos operacionais para os usuários finais. Esse grande volume de dados pode apresentar vulnerabilidades, de modo que especialistas em segurança cibernética podem ser requeridos a atuar como consultores. Para questões mais pontuais no que tange ao uso do edifício, cidadãos desenvolvedores podem construir soluções de forma autônoma. Trata-se de profissionais que desenvolvem soluções digitais para si, na sua área de trabalho ou empresa e que não fazem parte de um departamento de TI, embora sejam normalmente guiados por especialistas em tecnologias quanto ao software a ser adotado, e para treinamento e suporte.

Maior autonomia do usuário no desenvolvimento e configuração de soluções digitais

A introdução de plataformas de baixo código ou sem código (sigla em inglês, LC/NC) tornou possível desenvolver aplicativos integrados com tecnologias avançadas. Com uso dessas plataformas, mais usuários estão buscando alavancar seu poder e autonomia quanto ao desenvolvimento e configuração de soluções digitais [66]. Aliados à oferta crescente de plataformas de baixo código ou sem código, outros fatores como disponibilidade de treinamentos gratuitos por parte dos fornecedores, democratização do uso da computação em nuvem e difusão do conceito de desenvolvimento cidadão vêm conferindo maior poder e autonomia do usuário no desenvolvimento e configuração de soluções digitais em geral e, em particular, para o segmento de edificações [67].

Aumento da confiança dos usuários na segurança dos dados

A digitalização de diversos setores da economia reflete diretamente nos usuários de edificações, notadamente a evolução digital do setor elétrico que exigirá uma troca intensa de dados entre consumidores e sistema elétrico, com o gerenciamento de enorme volume de dados. Sobre as recentes notícias de vazamento de informações, principalmente no Brasil, um estudo recente sobre segurança e vazamento de dados indicou um aumento de 493% de vazamento em 2019 em relação à quantidade de informações que escoaram pelas redes no ano anterior, levando à crescente preocupação da sociedade brasileira com segurança digital [68]. Outro estudo, baseado em um levantamento online com participação de 714 consumidores de todo o país, na faixa etária de 18 a 65 anos, que deveriam ter realizado alguma transação online nos últimos 12 meses, mostrou os consumidores preocupados com segurança digital [69]. A pesquisa concluiu que 67% das pessoas entrevistadas estavam muito preocupadas com a segurança cibernética.

Este percentual varia com a faixa etária, sendo que o nível de preocupação é menor entre indivíduos de 18 a 25 anos (58%) e avança até a faixa de 46 a 55 anos, que registra o maior nível de preocupação (71%). Este sentimento age como um limitador a adoção de tecnologias digitais tanto por usuários, como por administradores e empreendedores e pode ditar o ritmo de adoção em alguns setores, incluindo no segmento de edificações.

2.7 Cenários do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil no horizonte 2050

Antes de se iniciar a descrição propriamente dita dos cenários prospectivos, faz-se necessário definir quais são as questões com alto grau de incerteza e impacto associadas à questão norteadora do processo de construção dos cenários e descrever as bases metodológicas para a construção dos cenários e para a estimativa do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil, no horizonte 2050 em cada cenário.

2.7.1 Incertezas críticas

No Quadro 2.2, apresentam-se as incertezas críticas referentes às duas variáveis-chave classificadas como variáveis de resultado na análise estrutural (quadrante inferior direito da Figura 2.3). São elas a digitalização no segmento de edificações no país e o potencial de eficiência energética no segmento de edificações decorrente da implementação da digitalização.

2.7.2 Bases metodológicas para a construção dos cenários prospectivos

Como definido anteriormente, cenários prospectivos são configurações de imagens de futuro condicionadas e fundamentadas em jogos coerentes de hipóteses sobre os prováveis comportamentos das variáveis determinantes do objeto de cenarização [3].

Para gerar os cenários prospectivos, optou-se por uma abordagem qualitativa proposta por Godet [3]. A equipe técnica empregou a técnica de investigação morfológica [5] em processo participativo estruturado visando construir a matriz morfológica genérica com as hipóteses associadas às variáveis e respectivos parâmetros e identificar e selecionar as combinações coerentes e tecnicamente lógicas. Foi necessário ainda analisar a consistência entre as hipóteses definidas para as incertezas críticas, procurando selecionar aquelas combinações que, além de consistentes,

Quadro 2.2 – Incertezas críticas a serem cenarizadas. Fonte: Elaboração própria.

Variável-chave	Incertezas críticas
Digitalização no segmento de edificações no país	<ul style="list-style-type: none"> • Como ocorrerá a digitalização no segmento de edificações no Brasil? • Que soluções digitais viabilizarão os cenários de digitalização rápida, moderada ou lenta, considerando sua implementação na próxima década? • Que fatores influenciarão os níveis de investimento requeridos para a digitalização de edificações nos três cenários?
Potencial de eficiência energética no segmento de edificações, decorrente da implementação da digitalização	<ul style="list-style-type: none"> • Qual o potencial de aumento de eficiência energética em edificações, decorrente da implementação da digitalização até 2050?

fossem consideradas as mais prováveis. As matrizes morfológicas apresentadas no item 2.7.4 apresentam as configurações mais prováveis para os cenários de digitalização lenta, moderada e rápida no segmento de edificações no Brasil, considerando-se o horizonte de 2050. Chegou-se, portanto, a três configurações consistentes e prováveis, conforme mostram as Figuras 2.6 a 2.8.

A descrição dos três cenários prospectivos associados a essas configurações contemplou a filosofia, que sintetiza o movimento ou a direção fundamental do sistema considerado; a trajetória do sistema no período de 2022 a 2032, a partir da cena inicial (2022), chegando-se à cena final do período (2032); e a trajetória do sistema no período de 2033 a 2050.

2.7.3 Bases para a estimativa do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil no horizonte 2050

Apesar da abordagem de prospecção adotada neste estudo ser de natureza qualitativa, buscou-se estimar em termos percentuais o potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil no horizonte 2050 em cada cenário. Para tal, foram definidas premissas com base nas configurações representadas nas Figuras 2.6 a 2.8, nas projeções de consumo de energia elétrica e potencial de eficiência energética do Plano Nacional de Energia – PNE 2050 [1] e em pesquisa documental cobrindo estudos recentes sobre digitalização e eficiência energética publicados por duas organizações internacionais – a Agência Internacional de Energia (sigla em inglês, IEA) e a Organização das Nações Unidas (ONU) [70 -74].

Segundo esses estudos, a digitalização pode oferecer uma enorme oportunidade para maximizar benefícios em todos os setores consumidores de energia e enfrentar os desafios da falta de dados ou informações, que levam a processos decisórios ineficientes. Destacam três setores-chave: edificações, indústria e transporte. Particularmente em relação a edificações, os estudos ressaltam o potencial da digitalização na redução do consumo de energia dos edifícios em cerca de 10% até 2040.

Isso posto, definiram-se no Quadro 2.3 as premissas para a estimativa quantitativa do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil, considerando o horizonte de 2050. Cabe destacar que as hipóteses definidas para esta variável, tenham sido geradas segundo os dois cenários do PNE 2050 [1], elas foram parametrizadas com as projeções do cenário “Desafio da expansão”, visando permitir a comparação direta entre as faixas percentuais do potencial de eficiência energética, conforme apresentado nas Figuras 2.6 a 2.8.

2.7.4 Configurações mais prováveis para os cenários de digitalização no segmento de edificações

As Figuras 2.6 a 2.8 representam as configurações mais prováveis para os cenários de digitalização no segmento de edificações no horizonte de 2050, geradas pela equipe técnica em processo participativo estruturado, após a construção do espaço morfológico com as hipóteses definidas para todas as variáveis e respectivos parâmetros.

Quadro 2.3 – Bases para a estimativa do potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil: 2022-2050. Fonte: Elaboração própria.

Parâmetro	Cenário A Digitalização lenta	Cenário B Digitalização moderada	Cenário C Digitalização rápida
Taxa de crescimento econômico no período 2022-2050	1,8% ao ano Cenário “Estagnação” do PNE 2050 [1]	2,8% ao ano Cenário “Desafio da expansão” do PNE 2050 [1]	
Consumo potencial de energia elétrica em todos os setores: horizonte 2050	Cerca de 893,50 TWh, com base no cenário “Estagnação” do PNE 2050 [1]	Cerca de 1888,23 TWh, com base no cenário “Desafio da expansão” do PNE 2050 [1]	
Consumo total de energia elétrica no segmento de edificações: horizonte 2050	Cerca de 151,90 TWh , com base no cenário “Estagnação” do PNE 2050 [1]	Cerca de 944,10 TWh , com base no cenário “Desafio da expansão” do PNE 2050 [1]	
Potencial de eficiência energética em todos os setores: horizonte 2050	10%* do consumo de energia elétrica, que corresponde a 89,35 TWh no cenário “Estagnação” do PNE 2050. (*) % de EE no PNE 2030.	17% do consumo de energia elétrica, que corresponde a 321 TWh no cenário “Desafio da expansão” do PNE 2050 [1]	
Potencial de eficiência energética no segmento de edificações: horizonte 2050	Cerca de 44,67 TWh , com base no cenário “Estagnação” do PNE 2050 [1]	Cerca de 8,5% do consumo de energia elétrica, que corresponde a 161 TWh no cenário “Desafio da expansão” do PNE 2050 [1]	
Obrigatoriedade de etiquetagem de eficiência energética por fase do ciclo de vida e por tipologia	Obrigatoriedade restrita por fase: projeto e reforma. Obrigatoriedade para determinadas tipologias. <u>Nota:</u> Hoje, a obrigatoriedade é para edificações públicas federais da Administração Direta, Autárquica e Fundacional).	Obrigatoriedade restrita por fase: projeto e reforma Obrigatoriedade para todas as tipologias. <u>Nota:</u> Hoje, em andamento análise de impacto regulatório (AIR) para a obrigatoriedade da etiquetagem.	Obrigatoriedade restrita por fase: projeto, operação e reforma. Obrigatoriedade para todas as tipologias. <u>Nota:</u> Hoje, em andamento desenvolvimento de <i>benchmarks</i> de consumo para edificações de diferentes tipologias.
Implementação de soluções digitais por fase do ciclo de vida	Figura 2.9	Figura 2.10	Figura 2.11 para todas as tipologias
Referências internacionais sobre o potencial de eficiência energética no segmento de edificações decorrente da digitalização no mundo.	10% do consumo total de energia no segmento de edificações [70-74]		
Limites inferiores e superiores para a estimativa do potencial de EE no segmento de edificações	Limite inferior: 10%* de 151,90 TWh** = 15,19 TWh. * [70-74] ** Cenário “Estagnação” do PNE 2050 [1]		Limite superior: 10%* de 944,10 TWh** = 94,41 TWh. * [70-74] ** Cenário “Desafio da expansão” do PNE 2050 [1]
Estimativa do potencial de EE no segmento de edificações, segundo os limites inferior e superior	Estimativa compatível com limite inferior: 15,19 TWh/161 TWh = 9,4%		Estimativa compatível com limite superior: 94,41 TWh/161 TWh = 58,3%
Potencial de eficiência energética no segmento de edificações decorrente da digitalização	Até 10% de 161 TWh: até 16,1 TWh	20-30% de 161 TWh: 32,2 – 48,3 TWh	30-40% de 161 TWh: 48,3 – 64,4 TWh
Emissão evitada de CO ₂ equivalente (tCO ₂)	Até 203.504 tCO ₂ [75;76]	407.008 – 610.512 tCO ₂ [75;76]	610.512 – 814.016 tCO ₂ [75;76]

Variável	Parâmetros	Hipóteses					
Dinâmica da economia brasileira (ECON)	Evolução dos indicadores econômicos	Decréscimo acentuado	Decréscimo moderado	Estagnação	Crescimento moderado	Crescimento acentuado	
	Intensidade das relações e acordos internacionais (RAI)	Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito alta	
Políticas públicas e programas de eficiência energética no país (POEE)	Efetividade das políticas e programas	Baixa	Moderada		Alta		
Políticas públicas e instrumentos para digitalização no país (PODI)	Efetividade das políticas e instrumentos	Baixa	Moderada		Alta		
Políticas públicas habitacionais (POHA)	Efetividade das políticas públicas habitacionais	Baixa	Moderada		Alta		
Regulamentação para modernização do setor elétrico no país (RELE)	Incentivo à expansão da gestão da demanda	Expansão lenta		Expansão moderada	Expansão rápida		
	Incentivo à geração distribuída	Abrangência limitada		Abrangência média		Abrangência ampla	
	Incentivo à comercialização de energia	Abrangência limitada		Abrangência média		Abrangência ampla	
Investimentos públicos e privados para digitalização (INDI)	Ritmo de digitalização em diversos setores da economia	Lento com predominância de investimentos públicos		Moderado com participação crescente de investimentos privados		Rápido com investimentos públicos e privados	
Normalização técnica e regulamentação aplicável à digitalização no segmento de edificações (NODI)	Nível de maturidade dos processos de normalização técnica e regulamentação aplicável	Embrionário		Desenvolvimento		Crescimento	Maduro
	Grau de adoção de normas e regulamentos	Adoção incipiente		Adoção baixa		Adoção média	Adoção alta
Capacitação multinível em soluções digitais para profissionais do segmento de edificações (CAPE)	Grau de capacitação	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	
Comportamento dos usuários quanto à eficiência energética e sustentabilidade de edificações (USEE)	Grau de conscientização dos usuários	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	
	Cultura quanto ao uso de soluções sustentáveis	Muito desfavorável	Desfavorável	Indiferente	Favorável	Muito favorável	
Comportamento dos usuários quanto à digitalização de edificações e segurança cibernética (USDI)	Grau de conscientização dos usuários	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	
	Cultura quanto ao uso de soluções digitais	Muito desfavorável	Desfavorável	Indiferente	Favorável	Muito favorável	
Custos da digitalização no segmento de edificações (CUST)	Disponibilidade das novas soluções digitais	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta	
	Custos da digitalização no segmento de edificações	Muito baixos	Baixos	Médios	Altos	Muito altos	
Mercado brasileiro de edificações eficientes (MREE)	Crescimento do mercado de edificações eficientes no país	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	
	Obrigatoriedade de etiquetagem de eficiência energética por fase do ciclo de vida da edificação	Sem obrigatoriedade		Obrigatoriedade restrita: projeto e reforma		Obrigatoriedade restrita: projeto, operação e reforma	
	Obrigatoriedade de etiquetagem de eficiência energética por tipologia	Sem obrigatoriedade		Obrigatoriedade para determinadas tipologias		Obrigatoriedade para todas as tipologias	
Digitalização no segmento de edificações no país (DIGI)	Ritmo de digitalização no segmento de edificações	Lento		Moderado		Rápido	
	Soluções digitais implementadas por fase do ciclo de vida da edificação	Matriz morfológica de soluções digitais implementadas por fase do ciclo de vida: Figura 2.9					
	Investimentos em digitalização no segmento de edificações no país	Baixos, devido à massificação das tecnologias digitais		Médios, em função da indução pública ou privada		Altos, devido à baixa difusão tecnológica	
Potencial do aumento da eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no país (EEDI)	Potencial de eficiência energética até 2050 Base: 161 TWh no cenário "Desafio da expansão" do Plano Nacional de Energia 2050 [1]	Até 10% de 161 TWh	10 -20% de 161 TWh	20-30% de 161 TWh	30-40% de 161 TWh	Maior que 40% de 161 TWh	

Figura 2.6 – Configuração mais provável para o cenário A – Digitalização lenta. Fonte: Elaboração própria.

Variável	Parâmetros	Hipóteses					
Dinâmica da economia brasileira (ECON)	Evolução dos indicadores econômicos	Decréscimo acentuado	Decréscimo moderado	Estagnação	Crescimento moderado	Crescimento acentuado	
	Intensidade das relações e acordos internacionais (RAI)	Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito alta	
Políticas públicas e programas de eficiência energética no país (POEE)	Efetividade das políticas e programas	Baixa	Moderada		Alta		
Políticas públicas e instrumentos para digitalização no país (PODI)	Efetividade das políticas e instrumentos	Baixa	Moderada		Alta		
Políticas públicas habitacionais (POHA)	Efetividade das políticas públicas habitacionais	Baixa	Moderada		Alta		
Regulamentação para modernização do setor elétrico no país (RELE)	Incentivo à expansão da gestão da demanda	Expansão lenta		Expansão moderada	Expansão rápida		
	Incentivo à geração distribuída	Abrangência limitada		Abrangência média		Abrangência ampla	
	Incentivo à comercialização de energia	Abrangência limitada		Abrangência média		Abrangência ampla	
Investimentos públicos e privados para digitalização (INDI)	Ritmo de digitalização em diversos setores da economia	Lento com predominância de investimentos públicos		Moderado com participação crescente de investimentos privados		Rápido com investimentos públicos e privados	
Normalização técnica e regulamentação aplicável à digitalização no segmento de edificações (NODI)	Nível de maturidade dos processos de normalização técnica e regulamentação aplicável	Embrionário		Desenvolvimento	Crescimento		Maduro
	Grau de adoção de normas e regulamentos	Adoção incipiente		Adoção baixa		Adoção média	Adoção alta
Capacitação multinível em soluções digitais para profissionais do segmento de edificações (CAPE)	Grau de capacitação	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	
Comportamento dos usuários quanto à eficiência energética e sustentabilidade de edificações (USEE)	Grau de conscientização dos usuários	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	
	Cultura quanto ao uso de soluções sustentáveis	Muito desfavorável	Desfavorável	Indiferente	Favorável	Muito favorável	
Comportamento dos usuários quanto à digitalização de edificações e segurança cibernética (USDI)	Grau de conscientização dos usuários	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	
	Cultura quanto ao uso de soluções digitais	Muito desfavorável	Desfavorável	Indiferente	Favorável	Muito favorável	
Custos da digitalização no segmento de edificações (CUST)	Disponibilidade das novas soluções digitais	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta	
	Custos da digitalização no segmento de edificações	Muito baixos	Baixos	Médios	Altos	Muito altos	
Mercado brasileiro de edificações eficientes (MREE)	Crescimento do mercado de edificações eficientes no país	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	
	Obrigatoriedade de etiquetagem de eficiência energética por fase do ciclo de vida da edificação	Sem obrigatoriedade		Obrigatoriedade restrita: projeto e reforma		Obrigatoriedade restrita: projeto, operação e reforma	
	Obrigatoriedade de etiquetagem de eficiência energética por tipologia	Sem obrigatoriedade		Obrigatoriedade para determinadas tipologias		Obrigatoriedade para todas as tipologias	
Digitalização no segmento de edificações no país (DIGI)	Ritmo de digitalização no segmento de edificações	Lento		Moderado		Rápido	
	Soluções digitais implementadas por fase do ciclo de vida da edificação	Matriz morfológica de soluções digitais implementadas por fase do ciclo de vida: Figura 2.10					
	Investimentos em digitalização no segmento de edificações no país	Baixos, devido à massificação das tecnologias digitais		Médios, em função da indução pública ou privada		Altos, devido à baixa difusão tecnológica	
Potencial do aumento da eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no país (EEDI)	Potencial de eficiência energética até 2050 Base: 161 TWh no cenário "Desafio da expansão" do Plano Nacional de Energia 2050 [1]	Até 10% de 161 TWh	10 -20% de 161 TWh	20-30% de 161 TWh	30-40% de 161 TWh	Maior que 40% de 161 TWh	

Figura 2.7 – Configuração mais provável para o cenário B – Digitalização moderada. Fonte: Elaboração própria.

Variável	Parâmetros	Hipóteses				
Dinâmica da economia brasileira (ECON)	Evolução dos indicadores econômicos	Decréscimo acentuado	Decréscimo moderado	Estagnação	Crescimento moderado	Crescimento acentuado
	Intensidade das relações e acordos internacionais (RAI)	Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito alta
Políticas públicas e programas de eficiência energética no país (POEE)	Efetividade das políticas e programas	Baixa	Moderada	Alta		
Políticas públicas e instrumentos para digitalização no país (PODI)	Efetividade das políticas e instrumentos	Baixa	Moderada	Alta		
Políticas públicas habitacionais (POHA)	Efetividade das políticas públicas habitacionais	Baixa	Moderada	Alta		
Regulamentação para modernização do setor elétrico no país (RELE)	Incentivo à expansão da gestão da demanda	Expansão lenta	Expansão moderada	Expansão rápida		
	Incentivo à geração distribuída	Abrangência limitada	Abrangência média	Abrangência ampla		
	Incentivo à comercialização de energia	Abrangência limitada	Abrangência média	Abrangência ampla		
Investimentos públicos e privados para digitalização (INDI)	Ritmo de digitalização em diversos setores da economia	Lento com predominância de investimentos públicos	Moderado com participação crescente de investimentos privados	Rápido com investimentos públicos e privados		
Normalização técnica e regulamentação aplicável à digitalização no segmento de edificações (NODI)	Nível de maturidade dos processos de normalização técnica e regulamentação aplicável	Embrionário	Desenvolvimento	Crescimento	Maduro	
	Grau de adoção de normas e regulamentos	Adoção incipiente	Adoção baixa	Adoção média	Adoção alta	
Capacitação multinível em soluções digitais para profissionais do segmento de edificações (CAPE)	Grau de capacitação	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
Comportamento dos usuários quanto à eficiência energética e sustentabilidade de edificações (USEE)	Grau de conscientização dos usuários	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
	Cultura quanto ao uso de soluções sustentáveis	Muito desfavorável	Desfavorável	Indiferente	Favorável	Muito favorável
Comportamento dos usuários quanto à digitalização de edificações e segurança cibernética (USDI)	Grau de conscientização dos usuários	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
	Cultura quanto ao uso de soluções digitais	Muito desfavorável	Desfavorável	Indiferente	Favorável	Muito favorável
Custos da digitalização no segmento de edificações (CUST)	Disponibilidade das novas soluções digitais	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
	Custos da digitalização no segmento de edificações	Muito baixos	Baixos	Médios	Altos	Muito altos
Mercado brasileiro de edificações eficientes (MREE)	Crescimento do mercado de edificações eficientes no país	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
	Obrigatoriedade de etiquetagem de eficiência energética por fase do ciclo de vida da edificação	Sem obrigatoriedade	Obrigatoriedade restrita: projeto e reforma	Obrigatoriedade restrita: projeto, operação e reforma		
	Obrigatoriedade de etiquetagem de eficiência energética por tipologia	Sem obrigatoriedade	Obrigatoriedade para determinadas tipologias	Obrigatoriedade para todas as tipologias		
Digitalização no segmento de edificações no país (DIGI)	Ritmo de digitalização no segmento de edificações	Lento	Moderado	Rápido		
	Soluções digitais implementadas por fase do ciclo de vida da edificação	Matriz morfológica de soluções digitais implementadas por fase do ciclo de vida: Figura 2.11				
	Investimentos em digitalização no segmento de edificações no país	Baixos, devido à massificação das tecnologias digitais	Médios, em função da indução pública ou privada	Altos, devido à baixa difusão tecnológica		
Potencial do aumento da eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no país (EEDI)	Potencial de eficiência energética até 2050 Base: 161 TWh no cenário "Desafio da expansão" do Plano Nacional de Energia 2050 [1]	Até 10% de 161 TWh	10 -20% de 161 TWh	20-30% de 161 TWh	30-40% de 161 TWh	Maior que 40% de 161 TWh

Figura 2.8 – Configuração mais provável para o cenário C – Digitalização rápida. Fonte: Elaboração própria.

2.7.5 Descrição dos cenários prospectivos

Cenário A – Digitalização lenta

Filosofia

A digitalização no segmento de edificações no Brasil ocorre em ritmo lento, com indução pelo Estado limitada a edificações públicas. Políticas públicas habitacionais enfatizam as habitações de interesse social (HIS). O uso de soluções digitais em HIS e o aumento potencial de eficiência energética são considerados aspectos de menor relevância face à necessidade premente de redução do déficit habitacional. A adoção de algumas soluções digitais nas fases de projeto, construção, operação e reforma das edificações ocorre de forma autônoma seguindo a evolução natural do mercado dessas tecnologias no país. Em consequência do ritmo lento da digitalização no segmento, o potencial de eficiência energética é baixo, situando-se em níveis inferiores a 10% do total de 161 TWh¹⁹ até 2050.

Trajatória 2022-2032

Na primeira década do cenário de digitalização lenta, observa-se um quadro de estagnação econômica com fortes estrangulamentos econômicos e financeiros, que impedem o avanço de investimentos em digitalização nos mais diversos setores da economia, inclusive na construção civil. Registram-se taxas baixas de crescimento econômico no período, em torno de 1,8% ao ano²⁰ [1]. Políticas públicas e instrumentos para promover a digitalização no país direcionam-se para alguns setores específicos. Particularmente para o segmento de edificações, observa-se que a indução pelo Estado se limita a poucas iniciativas em edificações públicas, que não geram ainda os resultados esperados na trajetória 2022-2032.

Face à representatividade do segmento de edificações no consumo total de energia e em especial de energia elétrica, surgem já nesta primeira década oportunidades de eficiência do uso de energia decorrente da digitalização no segmento de edificações, mas que não podem ser totalmente aproveitadas pelo quadro de estagnação econômica do país. A etiquetagem de eficiência energética mantém-se obrigatória para edificações públicas da administração pública direta, autárquica e fundacional. Os resultados da análise de impacto regulatório da obrigatoriedade para outras tipologias de edificações ampliam os benefícios da etiquetagem nesta década, pela maior abrangência do instrumento. No entanto, o

crescimento do mercado de edificações eficientes no país ainda é considerado baixo. Considera-se que a complexidade institucional e os desafios na articulação de políticas e mecanismos de eficiência energética dificultam de forma significativa a integração de estruturas de governança para otimizar a alocação dos recursos existentes, visando o aproveitamento dessas oportunidades, que levariam ao aquecimento do mercado das edificações eficientes.

A efetividade da regulamentação para modernização do setor elétrico no país pode ser considerada moderada nesta trajetória, na medida em que os incentivos à geração distribuída e à comercialização de energia já vêm sendo utilizados com abrangência média no país. No entanto, a expansão da gestão da demanda ocorre em ritmo lento. No que tange às políticas públicas habitacionais, face à necessidade premente de redução do déficit habitacional, o uso de soluções digitais em habitações de interesse social (HIS) e o aumento potencial de eficiência energética são considerados aspectos de menor relevância nesta trajetória.

A digitalização no segmento de edificações nesta primeira década é dificultada pela relativa morosidade nos processos de normalização técnica e regulamentação aplicáveis à digitalização e pelo nível de qualificação da mão de obra especializada, considerado baixo neste cenário. Aliam-se a esses fatores limitantes, padrões comportamentais dos usuários refletidos em uma cultura de indiferença quanto à eficiência energética e sustentabilidade de edificações e, também, em relação aos benefícios da digitalização em edificações. Sem contar as preocupações dos usuários em relação aos potenciais ataques cibernéticos.

Mesmo com ritmo lento de digitalização, algumas soluções digitais [2; 57; 58] são empregadas nas fases de projeto, construção, operação e reforma das edificações já na primeira década, como mostra a Figura 2.9. A oferta de soluções digitais no país pode ser considerada média, os custos da digitalização no segmento de edificações ainda são altos e a implementação ocorre de forma autônoma, acompanhando a evolução natural do mercado dessas tecnologias no país.

A computação em nuvem evolui rapidamente e funciona como habilitadora de praticamente todas as soluções digitais disponíveis em diferentes graus de maturidade. A modelagem da informação da construção atinge a

¹⁹ No cenário “Desafio da expansão” do Plano Nacional de Energia 2050, estima-se um potencial de eficiência energética de 321 TWh no Brasil, que corresponde a 17% do consumo total de energia elétrica no horizonte considerado (2050). Dado que o segmento de edificações é responsável hoje por cerca de 50% do consumo total de energia elétrica no Brasil, estima-se que o potencial de eficiência energética no segmento de edificações seja cerca de 161 TWh até 2050. As bases para a estimativa do potencial de eficiência energética no cenário de digitalização lenta encontram-se descritas na seção 2.7 (item 2.7.3) deste capítulo.

²⁰ De acordo com dados constantes do Plano Nacional de Energia 2050 (Brasil, 2002, p. 25), define-se a taxa média de 1,8% a.a. para o período 2022-2032, tendo como premissa estagnação econômica, repetindo-se a taxa de crescimento do PIB no período 2006-2015.

Solução digital	Projeto	Construção	Operação	Reforma	Demolição
Modelagem da Informação da Construção (BIM)					
Modelagem Energética da Edificação (BEM) Modelagem Energética Urbana (UBEM)					
Fluidodinâmica computacional (CFD)					
Simulação de iluminação natural e artificial					
Sistemas de Gestão de Portfólio Energético					
Softwares para Avaliação do ciclo de vida (ACV)					
Impressão 3D					
Realidade Aumentada					
Blockchain					
Softwares de Gerenciamento Ágil					
Sistema de Gestão Predial (BMS)					
Sensores, atuadores e interruptores inteligentes					
Interface de Iluminação Digital Endereçável (DALI)					
Fachadas Inteligentes e outros sistemas					
Assistentes virtuais					
Aplicativos e controles inteligentes					
Tomadas inteligentes e carregadores de veículos elétricos					
Equipamentos eletroeletrônicos inteligentes conectados à rede					
Aplicativos de resposta à demanda, conscientização e gamificação					
Computação em Nuvem					

Figura 2.9 – Soluções digitais implementadas por fase do ciclo de vida no cenário A – Digitalização lenta. Fonte: [2, 57, 58].

maturidade na etapa de projeto e conseqüentemente também é utilizada nas reformas. Embora já comece a ser empregada nas demais fases, principalmente na construção, ainda não é largamente utilizada. Apesar de a tecnologia já estar disponível, ainda há poucos casos aptos à utilização na fase de operação. Com os custos de energia em ascensão constante e a migração gradual do setor elétrico para a oferta de serviços de energia e segurança energética, a escalada da geração distribuída permanece, de modo que os sistemas de gestão de portfólio energético são fartamente utilizados para auxiliar o correto dimensionamento de sistemas solares fotovoltaicos e outros sistemas de geração local de energia renovável, bem como sistemas de cogeração a gás natural.

As tecnologias de simulação termoenergética e de iluminação permanecem focadas em mercados de nicho e aplicadas fundamentalmente a reformas (cujas possibilidades de projeto são mais restritas).

Sensores, atuadores e interruptores inteligentes associados a sistemas de gestão predial (BMS) são largamente utilizados em edifícios comerciais corporativos e em parte dos edifícios públicos, mas nem sempre da melhor maneira, requerendo consultorias periódicas para retrocomissionamento. Gradualmente começam a serem instalados sistemas dotados de inteligência artificial e, conseqüentemente, maior autonomia, abrindo espaço para consultorias que prestam serviço de gestão remota de recursos (principalmente de eletricidade) em edifícios. Nesse contexto, a tecnologia de interface digital de endereço da luz (sigla em inglês, DALI) passa a apresentar benefícios mais tangíveis e conseqüentemente ser mais amplamente adotada [2].

Algumas tecnologias estão muito próximas da virada para a massificação na fase de operação, porém as barreiras dos altos custos de implementação e da falta de incentivos ainda retêm o seu potencial de capilarização.

Trajetória 2033-2050

Na trajetória 2033-2050, persiste o quadro de estagnação econômica, dificultando o avanço de investimentos em digitalização nos mais diversos setores da economia, inclusive na construção civil. As taxas de crescimento econômico permanecem baixas no período, ainda em torno de 1,8% ao ano. Políticas públicas e instrumentos para promover a digitalização no segmento de edificações induzem parcialmente a digitalização no segmento, restringindo-se a iniciativas em edificações públicas. Embora limitada às edificações públicas, essas iniciativas alcançam os resultados esperados até o horizonte de 2050.

Continuam a surgir no período inúmeras oportunidades de eficiência do uso de energia decorrente da digitalização no segmento de edificações, em função de sua representatividade no consumo total de energia e em especial de energia elétrica. A etiquetagem de eficiência energética permanece obrigatória para edificações públicas da administração pública direta, autárquica e fundacional, porém, em função dos resultados da análise de impacto regulatório na primeira década, amplia-se para outras tipologias, bem como para as fases de projeto e reforma de edificações.

Na trajetória 2033-2050, as oportunidades de aumento de eficiência energética pela digitalização no segmento de edificações são parcialmente aproveitadas e os resultados mostram-se promissores para replicação futura. No entanto, permanecem os desafios na articulação de políticas e mecanismos de eficiência energética que ainda dificultam a integração de estruturas de governança para otimização na alocação dos recursos existentes, visando ao total aproveitamento dessas oportunidades.

A modernização do setor elétrico no país mantém-se em ritmo moderado no período de 2032 a 2050, devido à relativa utilização dos incentivos à geração distribuída e à comercialização de energia. No entanto, a expansão da gestão da demanda continua em ritmo lento. No que tange às políticas públicas habitacionais, face à permanência do déficit habitacional no período, o uso de soluções digitais em habitações de interesse social (HIS) e o aumento potencial de eficiência energética são considerados aspectos de menor relevância também nesta trajetória, evoluindo pouco em relação à primeira década.

O estágio de maturidade dos processos de normalização técnica e de regulamentação aplicável à digitalização e à eficiência energética em edificações pode ser considerado

em desenvolvimento, pois iniciativas no Brasil buscam se alinhar a iniciativas de normalização e regulamentação bem-sucedidas em outros países. O nível de qualificação da mão-de-obra especializada permanece baixo até o horizonte 2050. Os padrões comportamentais dos usuários também não evoluem para uma cultura favorável à eficiência energética e ao uso de soluções digitais em edificações neste período. Grande parte dos usuários é indiferente e não reconhece ainda os benefícios da digitalização em edificações, que incluem redução dos custos com energia elétrica, maior conforto e segurança, dentre outros benefícios.

A implementação das soluções digitais nas fases de projeto, construção, operação e reforma das edificações, como mapeado na Figura 2.9, evolui em seu curso natural no período. Os custos da digitalização neste segmento ainda são altos até o horizonte 2050, contribuindo para que a implementação das soluções digitais continue de forma autônoma e em ritmo lento, com indução por parte do Estado limitada somente a iniciativas em edificações públicas. Em consequência do ritmo lento da digitalização no segmento, o potencial de eficiência energética é baixo, situando-se em níveis inferiores a 10% do total de 161 TWh²¹ até 2050.

Paralelamente à implementação de soluções digitais no segmento de edificações no Brasil no horizonte 2050, novas tecnologias digitais aplicáveis ao segmento de edificações, além das mapeadas na Figura 2.9, vêm sendo desenvolvidas em nível global e deverão ser incluídas em cenários com horizontes mais longos.

Cenário B – Digitalização moderada

Filosofia

A digitalização no segmento de edificações no Brasil é implementada em ritmo moderado, sendo induzida pelo Estado em edificações públicas, comerciais e de serviços, mediante instrumentos regulatórios de digitalização e de eficiência energética. Políticas públicas habitacionais incluem mecanismos voltados para o aumento de eficiência energética e da digitalização em habitações de interesse social, com ênfase em tecnologias digitais de aplicação transversal. Soluções digitais são implementadas em todas as fases do ciclo de vida das edificações, com a participação crescente de investimentos privados. O potencial de eficiência energética decorrente da digitalização moderada atinge patamares de 20 a 30% do total de 161 TWh até 2050²²

²¹ No cenário “Desafio da expansão” do Plano Nacional de Energia 2050, estima-se um potencial de eficiência energética de 321 TWh no Brasil, que corresponde a 17% do consumo total de energia elétrica no horizonte considerado (2050). Dado que o segmento de edificações é responsável hoje por cerca de 50% do consumo total de energia elétrica no Brasil, estima-se que o potencial de eficiência energética no segmento de edificações seja cerca de 161 TWh até 2050. As bases para a estimativa do potencial de eficiência energética no cenário de digitalização lenta encontram-se descritas na seção 2.7 – item 2.7.3 deste capítulo.

²² Ver nota 15. As bases para a estimativa do potencial de eficiência energética no cenário de digitalização moderada encontram-se descritas na seção 2.7 – item 2.7.3 deste capítulo.

Trajatória 2022-2032

Na trajetória 2022-2032, observa-se um quadro de crescimento econômico moderado, favorecendo em certa medida investimentos em digitalização nos mais diversos setores da economia, ainda que em ritmo igualmente moderado. Registram-se taxas de crescimento econômico em torno de 2,8% ao ano²³. Nesta primeira década, a implementação de soluções digitais em edificações vem sendo induzida pelo Estado em edificações públicas, comerciais e de serviços, mediante instrumentos regulatórios de digitalização e de eficiência energética.

Investimentos em digitalização com a participação crescente do capital privado ocorrem em diversos setores da economia, inclusive na construção civil. Mecanismos de governança direcionados para a integração dos diversos instrumentos institucionais e regulatórios para digitalização, eficiência energética e habitação começam a impulsionar a adoção de tecnologias digitais nas mencionadas tipologias de edificações.

Surgem inúmeras oportunidades de efficientização do uso de energia decorrente da digitalização no segmento de edificações, que são aproveitadas de alguma forma, mas não totalmente pela existência de algumas barreiras, como, por exemplo, o nível baixo de qualificação da mão-de-obra especializada e a obrigatoriedade de a etiquetagem de eficiência energética ser limitada às fases de projeto e reforma. Como consequência, experimenta-se um crescimento moderado do mercado das edificações eficientes na trajetória 2022-2032.

A regulamentação para modernização do setor elétrico no país prossegue com resultados promissores, na medida em que os incentivos à geração distribuída vêm sendo utilizados com ampla abrangência no país. No entanto, a efetividade dos incentivos à comercialização de energia e à expansão da gestão da demanda é considerada moderada para ambos os focos da modernização. Políticas públicas habitacionais incluem mecanismos voltados para o aumento de eficiência energética e da digitalização em habitações de interesse social (HIS), com ênfase em tecnologias digitais de aplicação transversal. Esses são aspectos considerados estratégicos no PlanHab 2040 e algumas metas definidas neste Plano têm sido alcançadas, grande parte pela formação de parcerias público-privadas.

Os processos de normalização técnica e regulamentações aplicáveis à digitalização prosseguem em estágios distintos de desenvolvimento, mas não na agilidade pretendida. O nível de qualificação da mão de obra especializada permanece baixo, mas diversas instituições de ensino nos mais diversos níveis começam a mobilizar nesta primeira década para ampliar a oferta de cursos profissionalizantes

especializados e atualizar as grades curriculares no ensino superior. Ocorrem mudanças nos padrões comportamentais dos usuários e a cultura dos usuários quanto à eficiência energética e à sustentabilidade de edificações evolui para favorável. Os usuários já percebem alguns benefícios do uso de soluções digitais, especialmente a redução dos custos com energia elétrica, porém persistem as preocupações em relação aos ataques cibernéticos.

Com a digitalização ocorrendo em ritmo moderado no segmento de edificações, observa-se a implementação de diversas soluções digitais disponíveis como mapeado na Figura 2.10. A oferta de soluções digitais no país pode ser considerada média nesta década, com relativa redução nos custos da digitalização no segmento de edificações, devido aos esforços de integração e efetividade das políticas públicas e instrumentos voltados para eficiência energética, habitação e digitalização.

A computação em nuvem evolui rapidamente e funciona como habilitadora de praticamente todas as soluções digitais disponíveis em diferentes graus de maturidade. Ajuda a prover infraestrutura de segurança, que é gradualmente aumentada pelo uso ainda pontual de *Blockchain*. A modelagem da informação da construção atinge a maturidade nas fases de projeto, construção e reforma, em parte estimulados pela Estratégia BIM BR, mas principalmente pela melhora da padronização dos elementos construtivos e a disseminação das bibliotecas BIM entre os fornecedores. Embora já comece a ser empregada nas demais fases, principalmente na operação de edifícios públicos federais novos e reformados a partir de 2024, ainda não é largamente utilizada pelo mercado em geral. Apesar de a tecnologia já estar disponível, ainda há poucos casos aptos à utilização na fase de operação. Com os custos de energia em ascensão constante e a migração gradual do setor elétrico para a oferta de serviços de energia e segurança energética, a escalada da geração distribuída permanece, de modo que os sistemas de gestão de portfólio energético são fartamente utilizados para auxiliar o correto dimensionamento de sistemas solares fotovoltaicos e outros sistemas de geração local de energia renovável, bem como sistemas de cogeração a gás natural.

As tecnologias de simulação termoenergética conseguem ser mais bem integradas ao BIM a partir do desenvolvimento automático de camadas (*layers*) representando as zonas térmicas e do desenvolvimento de módulos específicos. Os softwares de simulação termoenergética e de iluminação evoluem e se tornam mais fáceis de manipular, ampliando sua adoção como ferramentas de auxílio à concepção de projeto (nas fases de projeto e reforma).

²³ De acordo com a estimativa da taxa de crescimento anual do PIB, que consta do cenário "Desafio da expansão" do Plano Nacional de Energia 2050 (Brasil, 2020, p. 22 – Figura 7).

Solução digital	Projeto	Construção	Operação	Reforma	Demolição
Modelagem da Informação da Construção (BIM)					
Modelagem Energética da Edificação (BEM) Modelagem Energética Urbana (UBEM)					
Fluidodinâmica computacional (CFD)					
Simulação de iluminação natural e artificial					
Sistemas de Gestão de Portfólio Energético					
Softwares para Avaliação do ciclo de vida (ACV)					
Impressão 3D					
Realidade Aumentada					
Blockchain					
Softwares de Gerenciamento Ágil					
Sistema de Gestão Predial (BMS)					
Sensores, atuadores e interruptores inteligentes					
Interface de Iluminação Digital Endereçável (DALI)					
Fachadas Inteligentes e outros sistemas					
Assistentes virtuais					
Aplicativos e controles inteligentes					
Tomadas inteligentes e carregadores de veículos elétricos					
Equipamentos eletroeletrônicos inteligentes conectados à rede					
Aplicativos de resposta à demanda, conscientização e gamificação					
Computação em Nuvem					

Figura 2.10 – Soluções digitais implementadas por fase do ciclo de vida no cenário B – Digitalização moderada. Fonte: [2, 57, 58].

Aumenta gradualmente o apelo da sustentabilidade e a demanda por descarbonização faz com que as avaliações do ciclo de vida ganhem maior importância, de modo que os inventários e a oferta de softwares passam a ser oferecidos como serviço, a um custo mais baixo e são largamente utilizados nas fases de construção, reforma e demolição, fomentando a economia circular. Esse movimento é incrementado pela aplicação de *Blockchain* na cadeia produtiva dos materiais de construção, que permite enorme precisão na quantificação das emissões e custos energéticos embutidos em todo o ciclo de vida dos produtos e auxilia as tomadas de decisão sobre reuso ou reciclagem nas fases de reforma e demolição.

Sensores, atuadores e interruptores inteligentes associados a sistemas de gestão predial (BMS) são largamente utilizados em edifícios comerciais corporativos e em parte dos edifícios públicos, mas nem sempre da melhor maneira, requerendo consultorias esporádicas para retrocomissionamento. Gradualmente começam a serem instalados sistemas dotados de inteligência artificial e,

consequentemente, maior autonomia, abrindo espaço para consultorias que prestam serviço de gestão remota de recursos (principalmente de eletricidade) em edifícios. Nesse contexto, a tecnologia DALI passa a apresentar benefícios mais tangíveis e consequentemente ser mais amplamente implementada.

Os veículos elétricos ficam mais acessíveis e a infraestrutura para carregamento e troca de informações evolui a reboque, tornando comuns as tomadas para carregamento de veículos elétricos, embora ainda de fluxo unidirecional.

Nas residências e pequenos comércios a digitalização avança a passos mais largos com a popularização da internet das coisas e, por conseguinte, de aplicativos e controles inteligentes, bem como pelo uso de assistentes virtuais para o controle de equipamentos inteligentes. Os equipamentos antigos ganham uma camada de inteligência com a adoção massiva de tomadas inteligentes.

Várias tecnologias se aproximam da fase de operação, mas a barreira do custo de implementação e a falta de incentivos ainda retêm o seu potencial de capilarização.

Trajectoria 2033-2050

Na trajetória 2033-2050, permanece um quadro de crescimento econômico moderado, com avanço nos investimentos em digitalização nos mais diversos setores da economia, inclusive na construção civil. As taxas de crescimento econômico encontram-se em torno de 3,1% ao ano²⁴ neste período. A digitalização no segmento de edificações continua em ritmo moderado no país, sendo induzida pelo Estado em edificações públicas, comerciais e de serviços, mediante a integração de alguns instrumentos regulatórios de digitalização e de eficiência energética.

Neste período, intensificam as oportunidades de eficiência do uso de energia decorrente da digitalização no segmento de edificações, em função de sua representatividade no consumo de energia elétrica no país e do quadro de estabilidade política e crescimento moderado da economia. A etiquetagem de eficiência energética mantém-se obrigatória para todas as tipologias de edificações, porém abrangendo algumas fases do ciclo de vida das edificações (projeto e reforma). Os resultados favoráveis da análise de impacto regulatório da obrigatoriedade para todas as tipologias de edificações na primeira década ampliaram os benefícios da etiquetagem no período 2033-2050. Mesmo com alguns fatores favoráveis para o aquecimento do mercado de edificações eficientes, observa-se um crescimento moderado no período 2033-2050.

A modernização do setor elétrico no país continua neste período, sendo os incentivos à geração distribuída utilizados com ampla abrangência no país. Já a efetividade dos incentivos à comercialização de energia e à expansão da gestão da demanda permanece moderada para ambos os focos da modernização. Políticas públicas habitacionais prosseguem incentivando eficiência energética e digitalização em habitações de interesse social (HIS), com ênfase em tecnologias digitais de aplicação transversal. Diversas metas definidas no PlanHab 2040, referentes ao emprego de soluções digitais transversais e à eficiência energética, têm sido alcançadas com desdobramentos para a década 2040-2050.

Os processos de normalização técnica e regulamentações aplicáveis à digitalização prosseguem neste período com algum avanço em termos de agilidade, mas se encontram ainda em estágios distintos de desenvolvimento. Embora o nível de qualificação da mão de obra especializada permaneça ainda baixo, diversas instituições de ensino nos mais diversos níveis começam a oferecer cursos profissionalizantes especializados e atualizar as grades curriculares no ensino superior. Mudanças nos padrões comportamentais dos usuários quanto à eficiência energética e à sustentabilidade de edificações evolui para uma cultura favorável a esses temas. Os usuários percebem alguns benefícios do uso de soluções digitais em edificações, especialmente a redução dos custos com energia elétrica. Atenuam-se as preocupações em relação à segurança cibernética, na medida em que novas soluções digitais de combate aos ataques cibernéticos vêm sendo adotadas.

A digitalização no segmento de edificações, impulsionada pelo crescimento econômico, aumento de investimentos públicos e privados e pela indução do Estado, prossegue sendo implementada em ritmo moderado no período 2033-2050. As soluções digitais, mapeadas na Figura 2.10, são implementadas em todas as fases do ciclo de vida das edificações, com a participação crescente de investimentos privados. O potencial de eficiência energética decorrente da digitalização atinge patamares de 20 a 30% do total de 161 TWh até 2050²⁵.

Cenário C - Digitalização rápida

Filosofia

A digitalização no segmento de edificações é implementada em ritmo rápido no país, sendo fortemente induzida pelo Estado, com ampla participação de investimentos privados e adoção acelerada de tecnologias digitais. Abrange todas as tipologias de edificações, em função da efetiva integração entre os diversos mecanismos institucionais e regulatórios voltados para digitalização, eficiência energética e habitação. Muitas soluções digitais disponíveis comercialmente são adotadas em todas as fases do ciclo de vida das edificações já na primeira década.

O potencial de eficiência energética decorrente da digitalização rápida atinge níveis de 30 a 40% do total de 161 TWh²⁶ até 2050.

²⁴ De acordo com estimativa da taxa de crescimento econômico que consta do cenário “Desafio da expansão” do Plano Nacional de Energia 2050 (Brasil, 2020, p. 22 – Figura 7).

²⁵ No cenário “Desafio da expansão” do Plano Nacional de Energia 2050, estima-se um potencial de eficiência energética de 321 TWh no Brasil, que corresponde a 17% do consumo total de energia elétrica no horizonte considerado (2050). Dado que o segmento de edificações é responsável hoje por cerca de 50% do consumo total de energia elétrica no Brasil, estima-se que o potencial de eficiência energética no segmento de edificações seja cerca de 161 TWh até 2050. As bases para a estimativa do potencial de eficiência energética no cenário de digitalização moderada encontram-se descritas na seção 2.7 – item 2.7.3 deste capítulo.

²⁶ Ver nota 19. As bases para a estimativa do potencial de eficiência energética no cenário de digitalização rápida encontram-se descritas em na seção 2.7 – item 2.7.3 deste capítulo.

Trajetória 2022-2032

Na primeira década, registram-se taxas de crescimento econômico em torno de 2,8% ao ano²⁷, com intensificação de acordos internacionais, sendo alguns de interesse para as questões relacionadas a mudanças climáticas e à difusão das tecnologias digitais. A participação do segmento de edificações no consumo total de energia e em especial de energia elétrica levam o Estado a aperfeiçoar mecanismos existentes de políticas de eficiência energética e digitalização e induzir de forma ampla a digitalização neste segmento.

Investimentos públicos e privados em digitalização ocorrem em diversos setores da economia, inclusive no de construção civil. A efetiva integração entre os diversos mecanismos institucionais e regulatórios voltados para digitalização, eficiência energética e habitação impulsiona a adoção acelerada de tecnologias digitais disponíveis em todas as tipologias de edificações.

Face à representatividade do segmento de edificações no consumo total de energia e em especial de energia elétrica, surgem inúmeras oportunidades de efficientização do uso de energia pela digitalização no segmento de edificações, que são aproveitadas em sua grande maioria. Atribuem-se esses resultados positivos ao quadro de estabilidade política e crescimento moderado da economia experimentado nesta década. A etiquetagem de eficiência energética é obrigatória para todas as tipologias de edificações, abrangendo as fases de projeto, operação e reforma. Os resultados favoráveis da análise de impacto regulatório da obrigatoriedade para todas as tipologias de edificações ampliaram os benefícios da etiquetagem nesta década, pela maior abrangência do instrumento. Como consequência, todos esses fatores levaram ao aquecimento do mercado das edificações eficientes na trajetória 2022-2032.

A regulamentação para modernização do setor elétrico no país mostra-se efetiva, na medida em que os incentivos à geração distribuída e à comercialização de energia já vêm sendo utilizados com ampla abrangência já nesta década. A expansão da gestão da demanda também se dá em ritmo rápido, como esperado. No que tange às políticas públicas habitacionais, o uso de soluções digitais em habitações de interesse social (HIS) e o aumento potencial de eficiência energética são considerados aspectos relevantes no PlanHab 2040 e resultados promissores têm sido alcançados. Os principais gargalos do setor habitacional no país, mapeados em 2022, vêm sendo equacionados nesta década, com a participação dos atores envolvidos com a temática no país e formação de parcerias público-privadas.

A digitalização no segmento de edificações neste período vem sendo impulsionada pela maior agilidade nos processos de normalização técnica e regulamentação aplicáveis à digitalização e pela significativa melhoria do nível de qualificação da mão-de-obra especializada. As instituições de ensino nos mais diversos níveis mobilizam-se nesta primeira década para ampliar a oferta de cursos profissionalizantes especializados e atualizar as grades curriculares no ensino superior. Aliam-se a esses fatores que impacta positivamente a aceleração da digitalização no segmento de edificações, mudanças nos padrões comportamentais dos usuários. A cultura quanto à eficiência energética e à sustentabilidade de edificações evolui para posturas favoráveis, por parte dos usuários, que já percebem benefícios do uso de soluções digitais em edificações. Consideram em suas decisões benefícios como redução das despesas com energia elétrica, maior segurança e conforto. Não obstante essas mudanças comportamentais favoráveis, persistem nesta década as preocupações dos usuários em relação aos ataques cibernéticos.

Com a rápida digitalização no segmento de edificações já nesta primeira década, observa-se que as soluções digitais disponíveis são implementadas, como mostra a Figura 2.11.

A oferta de soluções digitais no país pode ser considerada alta nesta década e os custos da digitalização no segmento de edificações baixos, em função da integração e efetividade das políticas públicas e instrumentos voltados para eficiência energética, habitação e digitalização.

A computação em nuvem evolui rapidamente e funciona como habilitadora de praticamente todas as soluções digitais disponíveis em diferentes graus de maturidade. Ajuda a prover infraestrutura de segurança, que é gradualmente aumentada pelo uso massivo de *Blockchain*. A modelagem da informação da construção atinge a maturidade em todo o ciclo de vida das edificações, em parte estimulados pela Estratégia BIM BR, mas principalmente pela melhora da padronização dos elementos construtivos, da disseminação das bibliotecas BIM entre os fornecedores e da evolução das integrações entre os ambientes comuns de dados (*Common Data Environment* – CDE) e diversas outras tecnologias, o que viabiliza o uso do BIM como *hub* de controle de informações e tecnologias.

As tecnologias de simulação termoenergética, iluminação e CFD são plenamente integradas ao BIM e evoluem tornando-se mais fáceis de manipular, ampliando sua adoção como ferramentas de auxílio à concepção de projeto (nas fases de projeto e reforma), bem como para ajustes na operação (exceto CFD).

²⁷ De acordo com estimativa da taxa de crescimento econômico que consta do cenário “Desafio da expansão” do Plano Nacional de Energia 2050 (Brasil, 2020, p. 22 – Figura 7).

Solução digital	Projeto	Construção	Operação	Reforma	Demolição
Modelagem da Informação da Construção (BIM)					
Modelagem Energética da Edificação (BEM) Modelagem Energética Urbana (UBEM)					
Fluidodinâmica computacional (CFD)					
Simulação de iluminação natural e artificial					
Sistemas de Gestão de Portfólio Energético					
Softwares para Avaliação do ciclo de vida (ACV)					
Impressão 3D					
Realidade Aumentada					
Blockchain					
Softwares de Gerenciamento Ágil					
Sistema de Gestão Predial (BMS)					
Sensores, atuadores e interruptores inteligentes					
Interface de Iluminação Digital Endereçável (DALI)					
Fachadas Inteligentes e outros sistemas					
Assistentes virtuais					
Aplicativos e controles inteligentes					
Tomadas inteligentes e carregadores de veículos elétricos					
Equipamentos eletroeletrônicos inteligentes conectados à rede					
Aplicativos de resposta à demanda, conscientização e gamificação					
Computação em Nuvem					

Figura 2.11 – Soluções digitais implementadas por fase do ciclo de vida no cenário C – Digitalização rápida. Fonte: [2, 57, 58].

Aumenta gradualmente o apelo da sustentabilidade e a demanda por descarbonização faz com que as avaliações do ciclo de vida ganhem maior importância, de modo que os inventários e a oferta de softwares passam a ser oferecidos como serviço, a um custo mais baixo e são largamente utilizados em todas as fases da construção, fomentando a economia circular. Esse movimento é incrementado pela aplicação de *Blockchain* na cadeia produtiva dos materiais de construção, e na operação dos edifícios, o que permite enorme precisão na quantificação das emissões e custos energéticos embutidos em todo o ciclo de vida dos produtos e auxilia as tomadas de decisão sobre reuso ou reciclagem nas fases de reforma e demolição.

O avanço da manufatura aditiva torna comum o uso da impressão 3D de elementos construtivos customizados e mecanismos complexos, facilitando a adoção de fachadas dinâmicas e de diversos outros elementos, tanto na etapa de construção como na fase de operação, viabilizando a confecção de peças sob demanda em substituição àquelas

que apresentam defeitos ou desgaste. A impressão 3D de grande porte também evolui e é utilizada para a construção de residências, conjuntos residenciais e habitação de interesse social.

Com os custos de energia em ascensão constante e a migração gradual do setor elétrico para a oferta de serviços de energia e segurança energética, a escalada da geração distribuída permanece, de modo que os sistemas de gestão de portfólio energético são fartamente utilizados para auxiliar o correto dimensionamento e gerenciamento de sistemas solares fotovoltaicos e outros sistemas de geração local de energia renovável, bem como sistemas de cogeração a gás natural, tanto na escala da edificação como na escala dos distritos e são largamente amparados pelo uso da tecnologia de *Blockchain* na certificação de origem de cada ativo de energia e nas suas inúmeras transações entre diversos *stakeholders*. Ainda no contexto da regulamentação do setor elétrico e do seu processo de abertura, evoluem rapidamente e são amplamente utilizados aplicativos de resposta à demanda,

conscientização e gamificação, promovendo a eficiência energética de maneira mais lúdica e inserindo-a na cultura geral.

Sensores, atuadores e interruptores inteligentes associados a sistemas de gestão predial são largamente utilizados em edifícios comerciais corporativos dos edifícios públicos, com maior entrada dos sistemas dotados de inteligência artificiais e mais autônomos, que passam a assumir a função de trocar informações automaticamente via *Blockchain*, amparados por contratos inteligentes específicos. Sistemas de armazenamento de energia elétrica e veículos elétricos ficam mais acessíveis e a infraestrutura para carregamento e troca de informações evolui a reboque, tornando comuns as tomadas bidirecionais para carregamento de veículos elétricos.

Nas residências e pequenos comércios a digitalização avança a passos mais largos com a popularização da internet das coisas, inclusive nos eletrodomésticos da linha branca e, por conseguinte, de aplicativos e controles inteligentes, bem como pelo uso de assistentes virtuais para o controle de equipamentos inteligentes. Os equipamentos antigos ganham uma camada de inteligência com a adoção massiva de tomadas inteligentes.

Trajatória 2033-2050

Na trajetória 2033-2050, permanece um quadro de crescimento econômico moderado, impulsionando o avanço de investimentos em digitalização nos mais diversos setores da economia, inclusive na construção civil. As taxas de crescimento econômico encontram-se em torno de 3,1% ao ano²⁸. A digitalização no segmento de edificações neste período continua em ritmo rápido no país, sendo fortemente induzida pelo Estado, com ampla participação de investimentos privados e adoção acelerada de tecnologias digitais.

Continuam a surgir no período inúmeras oportunidades de eficiência do uso de energia decorrente da digitalização no segmento de edificações, em função de sua representatividade no consumo total de energia e em especial de energia e do quadro de estabilidade política e crescimento moderado da economia. A etiquetagem de eficiência energética mantém-se obrigatória para todas as tipologias de edificações, abrangendo as fases de projeto, operação e reforma. Os resultados favoráveis da análise de impacto regulatório da obrigatoriedade para todas as tipologias de edificações na primeira década ampliaram os benefícios da etiquetagem no período 2033-2050. Todos esses fatores contribuem para que o mercado das

edificações eficientes cresça no período 2032-2050, atingindo patamares superiores aos experimentados na primeira década.

A modernização do setor elétrico no país continua neste período, mantendo-se os incentivos à geração distribuída e à comercialização de energia, que já vinham sendo utilizados com ampla abrangência no país na década 2022-2032. A expansão da gestão da demanda também continua em ritmo rápido, como planejado para o longo prazo. O uso de soluções digitais em habitações de interesse social (HIS) e o aumento potencial de eficiência energética em edificações em geral são focos estratégicos no PlanHab 2040. Este Plano vem sendo implementado com a participação dos diversos atores envolvidos com a temática no país, com impactos na digitalização do segmento até o horizonte de 2040. Na década seguinte, novos desafios são identificados, sendo considerados na revisão do PlanHab 2040. Digitalização e eficiência energética em edificações são temas estratégicos que permanecem na agenda de longo prazo do Ministério do Desenvolvimento Regional.

A digitalização no segmento de edificações continua sendo impulsionada pela agilidade nos processos de normalização técnica e regulamentações aplicáveis à digitalização, bem como pela melhoria do nível de qualificação da mão de obra especializada, observada já nesta década. Aliam-se a esses fatores que estimulam a rápida digitalização no segmento de edificações, mudanças nos padrões comportamentais dos usuários são refletidos em uma cultura favorável à eficiência energética e à sustentabilidade de edificações. Mudanças comportamentais favoráveis à digitalização podem ser observadas e continuam impulsionando o crescimento do mercado das edificações eficientes. As questões de insegurança cibernética são uma preocupação constante, porém são abordadas neste período multidisciplinarmente. O próprio avanço de algumas tecnologias digitais favorece o combate contínuo aos ataques cibernéticos.

Com a rápida digitalização no segmento de edificações já no período 2022-2032, observa-se a massificação das tecnologias digitais, impulsionada pelo crescimento econômico e aumento de investimentos públicos e privados e pela integração e efetividade das políticas públicas e instrumentos voltados para eficiência energética, habitação e digitalização. As soluções digitais disponíveis comercialmente são adotadas em todas as fases do ciclo de vida das edificações desde a primeira década. O potencial de eficiência energética decorrente da digitalização atinge níveis de 30 a 40% do total de 161 TWh²⁹ até 2050.

²⁸ De acordo com estimativa da taxa de crescimento econômico que consta do cenário “Desafio da expansão” do Plano Nacional de Energia 2050 (Brasil, 2020, p. 22 – Figura 7).

²⁹ No cenário “Desafio da expansão” do Plano Nacional de Energia 2050, estima-se um potencial de eficiência energética de 321 TWh no Brasil, que corresponde a 17% do consumo total de energia elétrica no horizonte considerado (2050). Dado que o segmento de edificações é responsável hoje por cerca de 50% do consumo total de energia elétrica no Brasil, estima-se que o potencial de eficiência energética no segmento de edificações seja cerca de 161 TWh até 2050. As bases para a estimativa do potencial de eficiência energética no cenário de digitalização rápida encontram-se descritas na seção 2.7 – item 2.7.3 deste capítulo.

2.8 Análise das barreiras para implementação da digitalização no segmento de edificações no Brasil e implicações estratégicas

Apresentam-se, a seguir, um conjunto de barreiras para implementação da digitalização no segmento de edificações no Brasil, identificadas pela equipe com base em análise documental e entrevistas semiestruturadas conduzidas junto a especialistas no decorrer do mês de novembro de 2021. As barreiras foram classificadas em quatro agrupamentos:

- i. Institucionais;
- ii. Mercadológicas e financeiras;
- iii. Técnicas;
- iv. Comportamentais e de qualificação de mão-de-obra especializada

2.8.1 Barreiras institucionais

BI1 – Implementação de diversas políticas públicas setoriais de forma descoordenada, sem sinergia entre os órgãos competentes

A implementação de políticas e mecanismos de eficiência energética envolve uma cadeia complexa que demanda a coordenação entre diversas políticas setoriais, com objetivos distintos das políticas de eficiência energética, porém correlacionados. Adicionalmente, há situações nas quais se requer a coordenação de políticas e ações envolvendo as esferas federal, estadual e municipal ou a articulação entre agentes distintos, tais como o poder público, consumidores finais de energia e agentes de financiamento [1]. A complexidade institucional e o atual nível de articulação de políticas e mecanismos de eficiência energética dificultam a integração de estruturas de governança para a execução das políticas e otimização na alocação de recursos.

BI2 – Retração dos investimentos em CT&I com impacto na digitalização de setores da economia

A retração dos investimentos públicos brasileiros em CT&I se agravou a partir de 2020 com a pandemia de Covid-19, quando todos os principais itens do orçamento do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) foram reduzidos, incluindo o Fundo Nacional de Desenvolvimento de Ciência e Tecnologia (FNDCT) e os recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). O investimento público em CT&I está em níveis inferiores àqueles observados há 20 anos.

A instabilidade de recursos e a consequente descontinuidade de projetos e ações em CT&I nas mais diversas áreas podem resultar no atraso de pesquisas importantes para o país em geral, e em particular em áreas de CT&I, cujos resultados impulsionariam a digitalização em diversos setores da economia, incluindo o segmento de edificações.

Portanto, o caminho para o aumento da inovação no Brasil passa pela otimização do investimento público e pela ampliação do investimento privado, o que pode ser alcançado por meio da aplicação de instrumentos de estímulo e do aumento da segurança jurídica, na forma de marcos legais e regulatórios que fomentem o investimento.

BI3 – Processos de normalização e regulamentação não acompanham o ritmo de evolução das tecnologias digitais

O ritmo acelerado de desenvolvimento e oferta de soluções digitais faz com que haja um descompasso do mercado com os processos de normalização técnica em nível internacional e nacional, bem como com os de regulamentação, que também têm um longo percurso até a efetivação dos regulamentos técnicos e instrumentos legais. Este descompasso dificulta a adoção de algumas soluções digitais nos mais diversos setores, inclusive o segmento de edificações, na medida em que os benefícios esperados da normalização podem não se concretizar em função do ritmo acelerado de inovações digitais.

Um estudo recente, coordenado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) sobre a percepção das empresas brasileiras sobre a normalização técnica para a indústria 4.0 no país buscou compreender quais eram as prioridades percebidas pelas empresas respondentes quanto à participação na normalização nos temas da indústria 4.0; identificar a disposição das empresas em participar diretamente em órgãos técnicos de normalização internacionais e nacionais dos seguintes organismos de normalização: ISO, IEC, ITU-T, ABNT e ANATEL; e verificar se as empresas já participam do processo de normalização e suas principais dificuldades [77]. Dentre as cinco tecnologias digitais que as empresas julgaram que a normalização exerce um papel importante na sua adoção no Brasil foram:

- i. Internet das Coisas (52% das empresas);
- ii. Sensores Inteligentes (47%);
- iii. Inteligência Artificial (32%);
- iv. Computação em Nuvem (31%);
- v. Robótica avançada (29%).

Do ponto de vista da contribuição da normalização para a transformação digital no Brasil, o estudo recomenda que as normas nacionais sejam a adoção de normas internacionais e que o Brasil participe ativamente do desenvolvimento das normas internacionais identificadas como prioritárias, tanto para que a visão brasileira seja levantada em conta, quanto para que as empresas brasileiras tomem conhecimento dessas tecnologias em primeira mão, adquirindo-o e dominando-o por meio dessa participação na sua discussão e construção [77].

BI4 – Parte dos representantes do segmento de edificações no Brasil resistem a normas e regulamentos e suas aplicações

O segmento de edificações é composto de diversas realidades e agentes como incorporadoras, construtoras, escritórios de projetos, administradores prediais, usuários, fornecedores e fabricantes de materiais e prestadores de serviço. Cada ator traz consigo sua própria diversidade seja nos portes, nos objetivos específicos, nas condições financeiras e nos desafios específicos seja na afinidade de adoção de tecnologias no seu cotidiano. De um modo geral, a indústria é considerada reativa às mudanças, preferindo o modo usual de fazer negócio, uma das formas de materialização desta característica é a resistência à normalização e padronização que associada a um ambiente de alta informalidade leva a um baixo nível de sua implementação. Países vizinhos do Mercosul com indústrias bem menores se encontram em estágio mais avançado. No que se refere à digitalização, esta barreira dificulta bastante adoção de soluções digitais que precisam de dados e informações consistentes para maximização de seus benefícios em todas as fases do ciclo de vida de uma edificação. Registra-se que parte dos empresários do setor tem participado de forma proativa de iniciativas governamentais na área.

2.8.2 Barreiras mercadológicas e financeiras

BM1 – Inexistência de linhas de crédito específicas para a implementação de soluções digitais nas edificações

Apesar da existência de linhas de crédito específicas para edificações eficientes ou vinculadas a certificações, não há linhas específicas para a digitalização de edificações no Brasil. Todavia, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) apoia, por meio do BNDES FINEM (Financiamento a empreendimentos) - Meio Ambiente - Eficiência Energética, projetos para a efficientização energética de edificações, com foco em condicionamento de ar, iluminação, envoltória e geração distribuída, incluindo cogeração, para unidades novas ou já existentes (reforma). Uma vez que o BNDES é uma instituição voltada para o financiamento de atividades de desenvolvimento, a liberação dos recursos depende da análise de diversos fatores relacionados ao risco de crédito, o que acaba burocratizando o processo [78]. Há outros produtos no mercado, mas com o foco específico em efficientização de edificações e não em digitalização de edificações; um exemplo é o Selo Casa Azul Caixa Econômica.

BM2 – Custos altos iniciais da adoção de soluções tecnológicas em edificações por pioneiros

Como em qualquer mercado, os pioneiros estão dispostos a adquirir novas tecnologias, mesmo que tenham o risco de comprar um produto que ainda não teve aprovação do mercado e que este seja mais caro. O segmento de edificações pode ter maiores desafios em relação à adoção de determinadas tecnologias, uma vez que os seus custos iniciais podem ser proibitivos para uma determinada parcela da população do Brasil, que enfrenta problemas como condições precárias de moradia e que compromete grande parcela da renda com aluguel.

BM3 – Baixo poder aquisitivo de usuários de algumas tipologias para adoção das soluções digitais

O Brasil tem uma grande desigualdade social que vem aumentando nos últimos anos. Além disso, a grande maioria das famílias brasileiras tem renda muito baixa, quando comparada com as dos países desenvolvidos. Este dado pode ser corroborado pelo elevado déficit habitacional existente no país. Portanto, o baixo poder aquisitivo de alguns usuários de edificações pode ser uma barreira para adoção das soluções digitais no país, particularmente em habitações de interesse social (HIS).

BM4 – Baixa disponibilidade de informação sobre o potencial e custos das oportunidades de eficiência energética

A disponibilidade de dados quanto ao perfil de consumo final, seus usos e potencial de eficiência energética e seus custos exige informações com grau de estratificação em nível setorial, para que possam prover insumos para a avaliação periódica de políticas e mecanismos de promoção à eficiência energética e, portanto, de sua efetividade como instrumento de fomento à inserção desse recurso como alternativa de atendimento à demanda de energia, inclusive contribuindo para avaliação da efetividade da aplicação de recursos financeiros dos programas de eficiência energética no país. Isso é fundamental para mapear as barreiras existentes, de modo a priorizar ações a serem empreendidas visando impulsionar o aproveitamento do potencial de aumento eficiência energética por tipologia de edificação.

BM5 – Custos de oportunidade (necessidade de reformas) não aproveitados para reformas com foco em eficiência energética e digitalização

Edifícios de pouco mais de 15 anos podem necessitar que alterações em seus sistemas sejam realizadas [79]. Todavia, muitos edifícios no país são reformados em períodos muito mais longos. Com a evolução rápida das tecnologias digitais, muitas oportunidades de melhoria do desempenho da edificação podem ser desperdiçadas durante este período, que tende a ser muito longo.

BM6 – Impacto dos custos de implementação da digitalização em Habitações de Interesse Social (HIS)

As margens de lucro para construtoras que investem em programas de HIS são bastante estreitas. Assim, os parâmetros de viabilidade para adoção de quaisquer soluções diferenciadas precisam ser definidos de tal forma que não impactem o CAPEX do empreendimento. Em tese, haveria uma segunda alternativa que necessitaria uma quebra de paradigma, ou seja, transferir o risco para as instituições financeiras. As intervenções precisariam demonstrar com segurança que a redução no OPEX poderia aumentar as margens de financiamento, que atualmente é fixada em R\$ 7.000,00, conforme o Decreto nº 10.600, de 14 de janeiro de 2021.

O Projeto Eficiência Energética no Desenvolvimento Urbano Sustentável (EEDUS) elaborou uma proposta de mecanismo de financiamento, baseado em um Fundo Garantidor de Crédito Rotativo, para que, com a redução das taxas de juros, as construtoras possam implementar medidas de eficiência energética em unidades habitacionais de interesse social no Brasil (HIS). A provisão de garantia visa

promover a redução da taxa de juros, contribuindo para o equacionamento da capacidade de pagamento em relação à prestação, compensando, em alguma medida, o incremento de custos para dotar a habitação de eficiência energética. Nesse sentido, incentiva a expansão do mercado de habitações eficiência energética e, por meio dos ganhos de escala, a paulatina redução dos custos associados. A opção pelo mecanismo de garantia propicia a rotatividade do uso dos recursos captados, ampliando os resultados potenciais.

A construção de histórico (*track record*) e bases de dados gerados a partir da provisão da garantia é outro benefício esperado, que, por sua vez, contribui para maior adesão do setor financeiro e aumenta a eficiência na precificação do *spread*, permitindo sua redução, mais uma vez favorecendo o equacionamento dos custos. A ampla oferta de crédito acessível, no âmbito do Sistema de Financiamento Habitacional (SFH), é fator-chave para a instituição desse mecanismo.

O segmento-alvo das famílias foi definido considerando a capacidade de suportar algum custo adicional resultante da eficiência energética incorporada, a despeito da eficiência já proporcionar economias de médio e longo prazo. O(s) pacote(s) mínimos de eficiência energética a serem definidos devem levar em consideração essa capacidade de suportar incremento de preço, de modo compatibilizado com os efeitos desejados em termos de redução mínima nas emissões dessas moradias.

BM7 – Falta de definição precisa de papéis e responsabilidades em relação ao uso e garantia de equipamentos incorporados à edificação

Uma das maiores reclamações dos incorporadores relaciona-se à insegurança de entregar equipamentos junto com as unidades habitacionais. Isto ocorre, porque, na eventualidade de problemas relativos a estes equipamentos, a responsabilidade pelo ônus da troca ou reparo não é claramente definida e a praxe do mercado é recorrer sempre ao incorporador. A falta de clareza em relação a estas responsabilidades dificulta sobremaneira a implementação de novas soluções digitais, pois cria um paradoxo em que aquele que é responsável por construir e poderia implementar novas tecnologias, não o faz por não auferir para si ganhos compatíveis com as novas responsabilidades e riscos que precisa assumir.

2.8.3 Barreiras técnicas

BT1 – Interfaces não amigáveis dificultando a adoção das soluções digitais

Pesquisas comerciais sobre o uso de soluções digitais análises mencionam a dificuldade de utilização dessas tecnologias como um dos fatores inibidores de sua ampla adoção. Uma das causas apontadas são as interfaces pouco amigáveis, que geram experiências frustrantes para o usuário e que aumentam a resistência ao uso e até bloqueio. Projetos centrados no ser humano podem minimizar ou até eliminar esse tipo de barreira, pois requerem que o exercício pelos fornecedores das soluções digitais de projetá-las levando em consideração as características de utilização sob a perspectiva dos usuários.

BT2 – Falta de infraestrutura de internet para disponibilizar acesso amplo e de qualidade para o fomento da digitalização em edificações

O acesso democrático à internet é ainda um dos grandes entraves à massificação das tecnologias digitais no segmento de edificações. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2019 quase 40 milhões de pessoas no Brasil não tinham conexão com o mundo digital, número que representa 21,7% da população com idade acima de dez anos [9].

O leilão do 5G, ocorrido no começo de novembro de 2021, para selecionar as operadoras de serviços de conectividade utilizando a quinta geração da telefonia móvel [31], deve melhorar a infraestrutura digital. No entanto em um país com tantas desigualdades como o Brasil, é importante o aprimoramento das malhas 4G e outras. A massificação do acesso demanda também a intensificação do emprego de outras ferramentas como *Blockchain*, que tem um potencial enorme de automatizar e dar mais segurança para várias transações. Ressalta-se que o acesso democrático se constitui em uma grande barreira para disseminação da digitalização como um todo e também no segmento de edificações.

BT3 – Estágio embrionário no país da padronização de processos, materiais e equipamentos no segmento de edificações

A padronização de processos, materiais e equipamentos é tão crucial na digitalização do segmento de edificações, que tem sido abordada neste estudo segundo várias perspectivas. Através do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) [51], é feita uma avaliação trimestral em diversos materiais de construção. Além disso, há uma certificação para construtoras e avaliação de sistemas construtivos inovadores e convencionais. Hoje, apenas construtoras que empreendem nos programas habitacionais buscam essas informações, mas o escopo do Programa pode abranger outras construções.

Não obstante esses esforços, o estágio embrionário da padronização na construção civil limita a difusão de tecnologias digitais em edificações e a intercambialidade das soluções entre os mais diversos agentes deste segmento. O alto nível de desperdício da construção civil poderia ser reduzido, bem como o aumento da produtividade e qualidade de serviços e materiais do setor poderia ser impulsionado, caso padronização de processos, materiais e equipamentos no segmento de edificações estivesse em estágio mais avançado.

BT4 - Insegurança cibernética

A insegurança cibernética foi abordada do ponto de vista da preocupação do usuário com o extravio de seus dados. No entanto, outro aspecto importante é necessidade do desenvolvimento de técnicas e tecnologias que evite as invasões aos sistemas informacionais e computacionais. Segundo pesquisa da McAfee (2020) [80], somente em 2020, os prejuízos gerados por cibercriminosos somaram mais de US\$ 1 trilhão. De acordo com a consultoria McKinsey, 60% dos executivos estimam que o débito técnico (desatualização tecnológica) aumentou nos últimos três anos [81]. Pior do que isso, 69% dos executivos gastam até 20% de seus investimentos em novos projetos com itens associados à desatualização, como atualizar um banco de dados para a versão mínima exigida pelas nuvens da Oracle, AWS ou Microsoft. Apesar desses números alarmantes, a grande maioria das empresas utiliza menos de um quinto de seus orçamentos anuais de TI para se manter atualizadas. Dessa forma, a insegurança cibernética do ponto de vista técnico também se constitui em uma barreira a ser minimizada para que não diminua o ritmo de adoção das soluções digitais, principalmente em grandes edifícios.

A tecnologia *Blockchain* pode ser usada em contratos inteligentes nas fases de operação, construção e de reforma da edificação. Ela possibilita o rastreamento de vários processos nestas fases do ciclo de vida, como controle de estoque de materiais, do efetivo de mão de obra, das tecnologias disponíveis e de condições ambientais. Por meio dos *contratos inteligentes*, o emprego da tecnologia *Blockchain* também garante a transparência e segurança das transações realizadas, pois os dados ficam permanentemente registrados numa plataforma, permitindo a todas as partes auditarem as informações definidas pelo contrato. Essa tecnologia é um dos exemplos de tecnologias de segurança cibernética que devem se popularizar nas próximas décadas para aumentar a qualidade e reduzir custos excessivos em segurança cibernética, o que prejudicaria a adoção em massa de soluções digitais em edificações.

BT5 - Adoção da digitalização em residências e pequenos comércios/serviços existentes, por requerer obras civis, pode inviabilizar sua implementação

Há diferentes níveis de digitalização que podem ser implementados em edificações de diversas tipologias e portes. Muitas não requerem grandes intervenções, como tomadas inteligentes, equipamentos inteligentes dotados de IOT, lâmpadas inteligentes, alguns tipos de sensores, aplicativos e *displays* inteligentes, por exemplo. Outros, no entanto, requerem planejamento específico, infraestrutura bem estabelecida, apresentam requisitos em relação às redes elétrica e de telecomunicação e interação com outros sistemas do edifício, como alguns tipos de sensores, atuadores, medidores, variadores de frequência, sistemas de geração e armazenamento de energia e sistemas de gestão predial, entre outros. Para esse segundo caso, de fato a necessidade de obras para implementação das tecnologias é fundamental e pode inviabilizar a adoção, caso seja este o único motivo da intervenção. Esta barreira se relaciona intimamente com a de custos de oportunidade não aproveitados para a eficiência energética e digitalização.

2.8.4 Barreiras comportamentais e de qualificação de mão-de-obra especializada

BC1 - Resistência do setor de construção civil a novas tecnologias digitais em edificações

O setor da construção civil no Brasil é historicamente reativo a mudanças, dado que funciona geral e predominantemente com mão-de-obra temporária e de baixa qualificação, mesmo para as tecnologias construtivas convencionais, adaptando-se somente a restrições legais ou normativas. Trata-se, dessa forma, de uma importante fonte de emprego e renda para uma parcela considerável da população com baixo nível de escolaridade e preparo técnico, gerando uma impedância política para a reversão deste quadro. O ciclo é vicioso e já prejudica o setor, a exemplo do que foi apontado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) em relação à retomada dos empreendimentos em 2021 [82]. A quebra desse paradigma poderia ocorrer a partir da ampliação dos níveis gerais de educação e capacitação da população.

Entre as faixas mais especializadas de mão-de-obra do setor, como os arquitetos, também há uma resistência cultural à digitalização, considerando que no segmento de edifícios comerciais corporativos, em especial, é comum a associação entre edifícios inteligentes e a estética da arquitetura internacional, cujas premissas são inadequadas ao conforto ambiental, em especial em regiões tropicais.

Com isso, requerem alto uso de iluminação artificial e sistemas de condicionamento de ar, provocando alto consumo de energia. Some-se a isso a baixa cultura de dados das organizações, a dificuldade de encontrar parâmetros e referências confiáveis e a baixa disponibilidade de informações e tem-se um contexto em que o valor da digitalização não é percebido facilmente [83].

BC2 – Baixa confiança do usuário em relação aos benefícios da adoção das soluções digitais e segurança cibernética

Os usuários têm também baixa percepção de valor em relação aos benefícios da digitalização, seja pela dificuldade de uso, decorrente do desenvolvimento de produtos desconsiderar a opinião dos seus clientes, seja pela eventual dependência de profissionais especializados escassos no mercado (e, portanto, caros), cujo benefício do trabalho se perde em relação ao custo. A falta de casos de sucesso e experiência tangível, seja em termos de economia de esforço, ganho de conforto ou retorno financeiro também desencoraja o consumidor médio a enveredar no rumo da digitalização.

A despeito dos sistemas de proteção cada vez mais comuns, como firewalls e antivírus, bem como às proteções adicionais ofertadas por plataformas de computação em nuvem, a baixa cultura digital influencia também a segurança cibernética, aumentando a suscetibilidade a ataques, fundamentalmente por fatores pessoais, como falta de cuidado na criação e armazenamento de senhas, inexistência de protocolos de classificação de informações e fundamentalmente a suscetibilidade a golpes.

BC3 – Cultura de eficiência energética na sociedade brasileira

Além do desenho de instrumentos setoriais específicos e transversais para a promoção de eficiência energética no país, mecanismos que incentivem ações de gestão ativa da demanda pelos consumidores representam parte importante da equação de redução de consumo de energia via uso eficiente. Nesse sentido, o componente de educação contribui para que a instalação de equipamentos eficientes, normas e regulações tenham perenidade através do comportamento de uso eficiente de energia por parte dos consumidores finais [1]. No entanto, há ainda muita confusão entre os termos conservação de energia, eficiência energética e racionamento, que não raro são entendidos como sinônimos por uma parcela significativa da população.

Os relativamente recentes casos de insegurança energética, “apagões”, a baixa dos reservatórios e o custo elevado da energia elétrica decorrente das bandeiras tarifárias

prejudicam a diferenciação entre os termos e reforçam o enfoque pejorativo [1]. Importante enfatizar que a cultura indiferente à eficiência energética se dá por não ser possível perceber seus benefícios, principalmente sob a ótica econômica.

BC4 – Grades curriculares defasadas em cursos profissionalizantes e no ensino superior em relação aos temas digitalização e eficiência energética

A permeabilidade à alteração curricular no Brasil é baixa e demorada. Por muitos anos o tema eficiência energética figurou apenas como linhas de pesquisa em cursos de pós-graduação *stricto sensu* e, atualmente, está sendo gradualmente incluído nos currículos plenos das faculdades de arquitetura e de algumas engenharias, apesar de ser importante para o mercado há mais de uma década, estando especialmente presente em certificações nacionais e internacionais voltadas para o segmento corporativo. A digitalização ainda é extremamente restrita a nichos e à engenharia elétrica, na especialidade de controle e automação, ou à engenharia de telecomunicações. A baixa demanda, decorrente da baixa literacia relacionada a estes temas prejudica a oferta de cursos específicos, o que impacta na baixa disponibilidade de mão-de-obra especializada e, conseqüentemente, nos seus custos. O movimento, entretanto, tem enorme potencial transformador, dado que nivela o conhecimento e cria oferta com potencial de sensibilização dos usuários finais a partir da prestação de serviços de maior qualidade. Cursos e consultorias de transformação digital têm se proliferado, principalmente nos últimos dois anos, entretanto têm conteúdo inespecífico, em geral mais atrelado à disciplina de gerenciamento de projetos.

BC5 – Baixa oferta de educação profissional e treinamento em digitalização de edificações

A oferta de educação profissional relacionada ao setor da construção civil tende a ser baixa em boa medida por conta da baixa demanda, dado que o setor emprega principalmente mão-de-obra desqualificada em troca de baixos salários. Para efeito de comparação até mesmo as atividades núcleo da construção civil são supridas a partir de treinamento informal e transmissão desestruturada de conhecimento a partir da experiência em detrimento de processos formais de capacitação. Esta lógica, entretanto, não tem como suprir a temática de digitalização, cujo escopo é mais complexo e com menos margem para falhas.

A baixa oferta de educação profissional incorre na escassez de profissionais qualificados, que retroalimenta a insegurança dos profissionais do ramo de planejamento e controle (como arquitetos e engenheiros) e a desconfiança dos usuários finais.

BC6 – Mudanças tecnológicas rápidas dificultam o mercado a se manter atualizado

A oferta crescente de soluções e tecnologias, em constante atualização e ampliação, de fato requer de todos um movimento de aprendizado contínuo, que nem sempre ocorre de maneira natural, requerendo sensibilização e capacitação, bem como investimentos incrementais em infraestrutura e programas, para que permaneçam atualizadas e utilizadas a contento. A tendência de obsolescência programada cada vez mais estreita contribui para agravar esse quadro. Por outro lado, existe a tendência ao oferecimento de soluções como serviços, através de estratégias de computação em nuvem, bem como o desenvolvimento de soluções centradas no usuário, cujo uso é autoexplicativo, mas que ainda não são uma realidade consolidada no segmento de edificações.

BC7 – Greenwashing de edificações

O termo *greenwashing* é utilizado para denominar o modo de comunicar informações errôneas a consumidores, de forma a descrever determinado produto ou política como mais favorável ao meio-ambiente, do que são na realidade [84; 85]. No segmento de edificações, inúmeros selos de autodeclaração para apresentar vantagens ambientais começaram a surgir. O produto reciclado ganha valor e vê-se, erroneamente, a divulgação de produtos que se autodenominam 100% reciclados. Tintas prometem reduzir em até 20% o consumo de energia com ar condicionado se aplicadas na cobertura. Exemplos como esses iludem o consumidor, que com o propósito de contribuir para a preservação do meio ambiente acaba adquirindo um produto que não oferece aquilo que informa. O desconhecimento tanto do fornecedor como do consumidor gera o fenômeno do *greenwashing*, com impactos negativos para ambos.

2.9 Considerações finais

Este capítulo forneceu subsídios analíticos e metodológicos para se construir futuros alternativos referentes ao potencial de eficiência energética decorrente da digitalização no segmento de edificações no Brasil, no horizonte 2050. Apresentaram-se três cenários diferenciados em função da combinação da evolução esperada dos principais condicionantes analisados no decorrer da cenarização.

O Cenário A descreveu a trajetória evolutiva da digitalização no segmento de edificações no Brasil ocorrendo em ritmo lento, com indução pelo Estado limitada a edificações públicas. A adoção de algumas soluções digitais ocorre de forma autônoma, seguindo a evolução natural do mercado dessas tecnologias no país. Em consequência do ritmo lento da digitalização no segmento, o potencial de eficiência energética situa-se em níveis inferiores a 10% do total de 161 TWh até 2050.

O Cenário B apresentou a evolução da implementação da digitalização no segmento de edificações em ritmo moderado, com indução pelo Estado em edificações públicas, comerciais e de serviços. Soluções digitais são implementadas em todas as fases do ciclo de vida das edificações, com a participação crescente de investimentos privados. O potencial de eficiência energética decorrente da digitalização moderada atinge patamares de 20 a 30% do total de 161 TWh até 2050.

O Cenário C preconizou a digitalização no segmento de edificações ocorrendo em ritmo rápido no país, em função da forte indução pelo Estado, da ampla participação de investimentos privados e da adoção acelerada de tecnologias digitais. Neste cenário, o potencial de eficiência energética decorrente da digitalização rápida atinge níveis de 30 a 40% do total de 161 TWh até 2050.

Os três cenários são igualmente prováveis, embora a análise de suas trajetórias apresente distintas tendências de maturação dos condicionantes, em função dos diferentes ritmos de implementação da digitalização no segmento e de quadros de crescimento econômico, variando entre estagnação e crescimento moderado até o horizonte 2050.

Tomando por base a evolução dos condicionantes nos três cenários e a análise das barreiras à implementação da digitalização no segmento de edificações no horizonte 2050, propõe-se no Capítulo 4 um conjunto de recomendações associadas às barreiras, buscando contribuir para a formulação de políticas públicas e ações direcionadas à digitalização e eficiência energética no segmento de edificações no Brasil e reduzir riscos em processos decisórios, tanto na esfera pública, quanto privada.

3. Estudos de caso

Este capítulo tem por objetivo descrever quatro estudos de caso de digitalização em edificações de diferentes tipologias, localizadas no território nacional, contemplando características arquitetônicas, medidas de eficiência energética, descritivo das soluções digitais e dados de redução do consumo de energia.

Os casos retratados são:

- Aqwa Corporate (Rio de Janeiro – RJ) – fases de projeto e operação;
- São Paulo Corporate Towers (São Paulo – SP) – fases de projeto e operação;
- Minha Casa + Sustentável (Rio de Janeiro – RJ) – fase de projeto;
- Planetário da Gávea (Rio de Janeiro – RJ) – fases de reforma e operação;
- Datacenter do SICOOB (Brasília – DF) – fases de reforma e operação.

A descrição desses casos visa mostrar o impacto das tecnologias digitais na eficiência energética das respectivas edificações, considerando-se o contexto climático do país. Destaca-se a complexidade do levantamento de dados, especialmente na fase de operação, dado que grande parte dos edifícios identificados foram concebidos e construídos com soluções digitais incorporadas. Isto dificulta a mensuração dos consumos de energia, antes e depois da tecnologia implantada e, portanto, dos ganhos de eficiência energética oriundos dessas soluções. Nesse sentido, a maior parte dos dados de economia energética apresentados a seguir refere-se a economias estimadas e não necessariamente a economias medidas.

3.1 Seleção dos estudos de caso

A seleção dos estudos de casos foi realizada em quatro etapas, como descrito a seguir.

Primeira etapa – Levantamento inicial

A primeira etapa se constitui da identificação de potenciais casos de edifícios inteligentes e eficientes a partir de arquivos próprios e redes de contato dos pesquisadores envolvidos neste trabalho, bem como via pesquisas na internet. A pesquisa pela internet foi focada em veículos digitais de informação, como sites de escritórios de arquitetura e consultoria voltados para a área de sustentabilidade e eficiência energética.

Inicialmente buscou-se abranger todas as tipologias e fases do ciclo de vida da edificação, conforme apresentado no Relatório Preliminar [2], visando apresentar um panorama mais amplo do potencial das soluções digitais com relação à eficiência energética de edificações brasileiras. Contudo, foi observado que o atual estado de implementação da digitalização no país não abrangeria todas as tipologias e fases do ciclo de vida das edificações.

Segunda etapa – Pré-seleção

A etapa de pré-seleção consistiu na análise de todos os potenciais casos identificados, visando selecionar aqueles que teriam dados e informações mais aprofundados sobre o consumo de energia. Priorizaram-se as indicações feitas pelos especialistas durante as entrevistas semiestruturadas realizadas na primeira fase deste estudo. Todavia, fatores como a tipologia e a fase do ciclo de vida da edificação, na qual as tecnologias digitais contribuíram para o aumento da eficiência energética, também foram adotados como critérios de pré-seleção, visando apresentar uma maior diversidade nos estudos de caso contemplados neste documento. Apresentam-se no Quadro 3.1 os quinze casos pré-selecionados, classificados de acordo com sua localização, tipologia e fase do ciclo de vida.

Quadro 3.1 – Casos pré-selecionados, classificados por localização, tipologia e fase do ciclo de vida. Fonte: Elaboração própria.

Fase do ciclo de vida	Título do projeto/edifício	Localização	Tipologia
Projeto	São Paulo Corporate Towers	São Paulo – SP	Comercial/Corporativo
	AQWA Corporate	Rio de Janeiro – RJ	Comercial/Corporativo
	Minha Casa Mais Sustentável	Lauro de Freitas – BA	Residencial/Habitação de Interesse Social
	Biblioteca Padre Eugène Charbonneau*	São Paulo – SP	Serviços/Educacional
	Nova Casa CEPEL NZEB	Rio de Janeiro – RJ	Público/Laboratório
Operação	Centro Administrativo Cidade Nova	Rio de Janeiro – RJ	Comercial/Corporativo
	Data Center do Sicoob	Brasília – DF	Comercial e de Serviços
	Candelária Corporate	Rio de Janeiro – RJ	Comercial/Corporativo
	São Paulo Corporate Towers*	São Paulo – SP	Comercial/Corporativo
	AQWA Corporate*	Rio de Janeiro – RJ	Comercial/Corporativo
	Escritório-sede da Sanofi*	São Paulo – SP	Comercial e de Serviços
	Edifício do Insper – Instituto de Ensino e Pesquisa*	São Paulo – SP	Serviços/Educacional
Reforma	Planetário da Gávea*	Rio de Janeiro – RJ	Público/Educacional
	Edifício Comendador Yerchanik Kissajikian (CYK)*	São Paulo – SP	Comercial/Corporativo

Nota: * Apresentados à GIZ e ao MME.

Terceira etapa – Validação da Pré-seleção

Como acordado na reunião de acompanhamento realizada no dia 10 de novembro de 2021, a listagem dos estudos de casos pré-selecionados foi submetida à *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ), ao Ministério de Minas e Energia (MME) e ao Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR) em 21 de novembro deste ano. A orientação da escolha dos casos baseada na economia de energia advinda da utilização de tecnologia digital foi buscada e vários possíveis candidatos foram analisados de forma mais detalhada.

Quarta etapa – Seleção final e obtenção das informações

Foi realizado um minucioso levantamento da contribuição das tecnologias digitais para a eficiência energética das edificações identificadas. O critério utilizado para a seleção final dos estudos de caso foi a validação das informações encontradas, seja pela troca de mensagens/e-mails com os responsáveis pelos projetos/edificações ou a sua disponibilidade para participar de entrevistas gravadas. Com base nisso, o número de estudos de casos a serem apresentados diminuiu para cinco, posteriormente um caso foi retirado devido ausência em tempo de autorização de divulgação, totalizando no final quatro casos, a saber:

- Minha Casa + Sustentável Frei Caneca (Rio de Janeiro – RJ);
- AQWA Corporate (Rio de Janeiro – RJ);
- São Paulo Corporate Towers (São Paulo – SP);
- Planetário da Gávea (Rio de Janeiro – RJ).

3.2 Estudo de caso 1 – Minha Casa Mais Sustentável

O Minha Casa Mais Sustentável foi uma iniciativa que visou estudos para propor projetos mais sustentáveis e energeticamente eficientes. O caso apresentado é de um projeto no município do Rio de Janeiro – RJ, elaborado no âmbito da regulamentação do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) [86-90].

Quadro 3.2 – Estudo de caso 1 – Minha Casa Mais Sustentável. Fonte: Elaboração própria.

Título: Protótipo Frei Caneca	Uso principal: Residencial
Município: Rio de Janeiro – RJ	Zona Bioclimática: ZB 8
Bairro: Catumbi	CEP: 20211-010
Fase do ciclo de vida do edifício	Projeto
Tipologia da edificação	Residencial/Habitação de Interesse Social (HIS)
Tecnologias digitais utilizadas	Modelagem Energética da Edificação (BEM)
Redução no consumo de energia (%)	3,13%
Área construída (m²)	46,21 m² e 43,46 m² por UH
Instituições participantes	Secretaria Nacional de Habitação – SNH/MDR Eletrobras/Procel Edifica Proureb – Programa de Pós-Graduação em Urbanismo da UFRJ Rede de Habitação da FAU/UFRJ Rede de Eficiência Energética (R3E)/UFV

Características arquitetônicas do projeto

Trata-se de um projeto experimental para o Programa Minha Casa Minha Vida, situado à Rua Frei Caneca, no Catumbi, Rio de Janeiro, RJ. Como alternativa ao modelo de geometria no formato H, comumente reproduzido pelas construtoras do PMCMV, mas que não favorece a melhor insolação e a predominância de ventos, além da sua implantação valorizar em demasia o uso do automóvel, foi realizado um estudo para propor uma solução alternativa, no formato retilíneo e na maneira de implantação das unidades, visando melhorar o conforto térmico e a incorporação de medidas de eficiência energética.



Figura 3.1 – Imagem conceito do projeto proposto para o Minha Casa Mais Sustentável. Fonte: [90].

Iniciativas de eficiência energética

Por meio da simulação termoenergética (BEM) na fase de projeto, foram sugeridas as seguintes soluções projetuais para melhoria da eficiência energética:

- Orientação dos blocos - fachadas maiores no sentido Nordeste-Sudeste:
 - Exposição dos ambientes aos ventos predominantes (sudeste), aliado à forma alongada dos blocos, para favorecer a ventilação natural;
 - Diferencial de pressões entre as duas fachadas que tende a intensificar o fluxo de ar entre as aberturas;
 - Melhor orientação dos ambientes, estando quartos e sala voltados para leste, banheiros, cozinha e circulação horizontal para oeste;
- Ventilação cruzada na unidade – tipologia e esquadrias (básculas e porta com postigo);
- Inclusão de varandas para sombreamento da fachada;
- Aumento do tamanho das esquadrias para atendimento aos pré-requisitos de iluminação natural;
- Adoção de esquadrias com possibilidade de sombreamento sem prejuízo da iluminação e ventilação;
- Isolamento térmico da cobertura (manta refletiva);
- Instalação de sistema de aquecimento solar de água;
- Também foi cogitada a possibilidade de inclusão de sistema fotovoltaico para geração de energia para as áreas comuns dos condomínios.



Figura 3.2 – Modelo geométrico do projeto proposto, contendo as zonas térmicas, as aberturas e as proteções solares da fachada principal e fundos. Fonte: [90].

Descritivo de soluções digitais

A simulação do desempenho termo energético do modelo proposto teve o objetivo de avaliar o nível de eficiência energética de cada unidade habitacional- UH e da edificação multifamiliar, segundo os critérios do PBE Edifica Residencial e seu equivalente em consumo de energia. O *software* utilizado foi o *EnergyPlus*, versão 8.1.03. O cálculo do nível de eficiência energética final da UH considerou nível de eficiência A do sistema de aquecimento de água e sem bonificações.

Dados de economia energética

A diferença estimada para o consumo anual do sistema de condicionamento de ar, comparando o modelo original (tipo H) e o modelo proposto, foi de 2,00 kWh/área condicionada, o que equivale à 1.776 kWh/ano (considerando o edifício multifamiliar como um todo) ou uma redução de 3,13%.

3.3 Estudo de caso 2 – AQWA Corporate

O AQWA Corporate e o São Paulo Corporate Towers (seção 3.4) são dois empreendimentos comerciais com certificação LEED, sendo utilizadas tecnologias digitais desde a concepção do projeto. A consultoria de eficiência energética foi realizada pela mesma empresa que acompanhou o processo de certificação, o Centro de Tecnologia de Edificações³⁰ [91-94].

Características arquitetônicas do projeto

O empreendimento conta com 22 pavimentos distribuídos entre dois edifícios, possuindo espaços para escritórios, lojas comerciais e espaços públicos no térreo. O estacionamento encontra-se dividido em cinco níveis subterrâneos. O hall de entrada de cada edifício foi construído acima da praça pública central, com vistas para o porto e a Baía de Guanabara. Três escadas rolantes fazem a conexão entre a praça central e os lobbies do edifício, além dos elevadores que levam os visitantes diretamente ao estacionamento. Os núcleos de serviço e circulação foram planejados para que cada pavimento possa ser subdividido em até quatro empresas diferentes. A estrutura principal consiste em uma laje de concreto moldado in loco sob um deck metálico com os *lobbies* suspensos sobre uma estrutura de aço.

Quadro 3.3 – Estudo de caso 2 – AQWA Corporate.

Fonte: Elaboração própria.

Título: AQWA Corporate	Uso principal: Corporativo
Município: Rio de Janeiro – RJ	Zona Bioclimática: ZB 8
Bairro: Santo Cristo	CEP: 20220-297
Fase do ciclo de vida do edifício	Projeto e operação
Tipologia da edificação	Comercial e de Serviços
Tecnologias digitais utilizadas	Modelagem Energética da Edificação (BEM) Sistema de Gestão Predial (BMS) Simulação de iluminação
Redução no consumo de energia (%)	15,47%
Área construída (m²)	223.000 m ²
Instituições participantes	Escritório de Arquitetura Foster + Partners Tishman Speyer Properties



Figura 3.3 – Fotografia do AQWA Corporate.

Fonte: Divulgação/Diário do Porto.

Iniciativas de eficiência energética

As seguintes iniciativas foram concebidas para a edificação, com o intuito de reduzir o consumo de energia e obter a Certificação *LEED Building Design and Construction*:

- Determinação de medidas de eficiência energética através da simulação termo energética (BEM) na fase de projeto;
- Implantação de sistema de gestão predial (BMS) na fase de operação;
- Sistema de iluminação interna de elevada eficiência;
- Envidraçamento de alto desempenho térmico e com baixo fator solar;
- Fachada com inclinação negativa diminuindo a incidência solar no interior da edificação;
- Sistema de condicionamento de ar centralizado composto por central de água gelada e chillers com elevado rendimento em cargas parciais.

³⁰ <https://cte.com.br/>.

Descritivo de soluções digitais

A modelagem energética da edificação (BEM) foi utilizada na fase de desenvolvimento do projeto, primordialmente em simulações considerando aspectos relacionados ao envidraçamento das fachadas, sistemas de iluminação interna e sistema de condicionamento de ar, gerando, dessa forma, indicativos das melhores configurações possíveis para obtenção de níveis mais elevados de eficiência energética. O software empregado para a realização das simulações foi o Energy Plus.

O sistema de gestão predial (BMS) foi empregado na fase de operação da edificação, atuando no sistema de condicionamento de ar, que funciona de acordo com a programação de ocupação do edifício para garantir o seu desligamento de forma automática, otimizando-se o consumo de energia. Além disso, o BMS monitora e controla o consumo de energia das áreas comuns do edifício para possibilitar a otimização operacional, sendo os medidores de consumo de energia integrados ao sistema de monitoramento e instalados de acordo com os usos finais de energia. A possibilidade de monitoramento com emprego de BMS contribui também para a gestão individualizada, na qual os locatários possuem medidores individuais que permitem a obtenção dos dados de consumo do espaço ocupado, incentivando, desta maneira, o uso consciente de energia.

Dados de economia energética

O AQWA Corporate é um edifício corporativo projetado para ser um modelo de edifício sustentável Triplo A no Brasil (Resfriamento, iluminação e envoltória). O resultado aceito pelo *U.S. Green Building Council* foi de 15,47% de redução de custo anual de energia em relação ao modelo de referência (*baseline*) da ASHRAE 90.1-2007, concedendo quatro pontos no crédito de “Otimização da Eficiência Energética” do LEED no Brasil para a tipologia LEED BD+C Core and Shell. Importante destacar que este empreendimento foi certificado com o emprego da Metodologia LEED BD+C Core and Shell V3 (2009).

3.4 Estudo de caso 3 – São Paulo Corporate Towers

Assim como o AQWA Corporate (seção 3.3), o São Paulo Corporate Towers possui certificação LEED, sendo utilizadas tecnologias digitais desde a concepção do projeto [95].

Quadro 3.4 – Estudo de caso 3 – São Paulo Corporate Towers.

Fonte: Elaboração própria.

Título: São Paulo Corporate Towers	Uso principal: Corporativo
Município: São Paulo – SP	Zona Bioclimática: ZB 3
Bairro: Vila Olímpia	CEP: 04543-907
Fase do ciclo de vida do edifício	Projeto e operação
Tipologia da edificação	Comercial e de Serviços
Tecnologias digitais utilizadas	Modelagem Energética da Edificação (BEM) Sistema de Gestão Predial (BMS)
Redução no consumo de energia (%)	49,9%
Área construída (m²)	257.799 m²
Instituições participantes	Participações Morro Vermelho S/A Escritório de Arquitetura Pelli Clarke Pelli Architects CBRE

Características arquitetônicas do projeto

O empreendimento foi construído em um lote de grandes dimensões, o qual possui cerca de 19.000 m² de área verde, com árvores nativas preservadas, as quais nortearam todo o projeto paisagístico. Nele se encontram duas torres corporativas, em formato torcido, formando uma composição dinâmica na paisagem urbana; um edifício que abriga centro de convenções, restaurante e cafeteria, que ficam incorporados a um embasamento escalonado coberto por jardins; e um edifício técnico, onde estão os equipamentos e a usina de geração de energia.



Figura 3.4 – Fotografia do São Paulo Corporate Towers.

Fonte: Divulgação/Union RHAC.

Iniciativas de eficiência energética

As iniciativas listadas a seguir foram concebidas para a edificação, com o intuito de reduzir o consumo de energia e obter a Certificação *LEED Building Design and Construction*:

- Determinação de medidas de eficiência energética através da simulação termo energética (BEM) na fase de projeto;
- Implantação de sistema de gestão predial (BMS) na fase de operação;
- Sistema de iluminação interna de elevada eficiência;
- Envidraçamento de alto desempenho térmico e com baixo fator solar;
- Sistema de condicionamento de ar centralizado composto por central de água gelada e chillers com elevado rendimento em cargas parciais;
- Grupos geradores e sistema de refrigeração atuando em arranjo de cogeração, onde parte do rejeito de calor dos grupos geradores de energia é reutilizado nos chillers de absorção.

Descritivo de soluções digitais

A Modelagem Energética da Edificação (BEM) foi utilizada na fase de desenvolvimento do projeto primordialmente em simulações considerando aspectos relacionados ao envidraçamento das fachadas, sistemas de iluminação interna, sistema de condicionamento de ar e sistemas de geração de energia/cogeração, gerando dessa forma, indicativos das melhores configurações possíveis para obtenção de níveis mais elevados de eficiência energética. O *software* empregado para a realização das simulações foi o Energy Plus.

O BMS foi empregado na fase de operação da edificação atuando no sistema inteligente de gerenciamento predial por completo, além de incluir controle de acesso interligado à chamada de elevadores e sistema de tarifação individual de energia elétrica e água. Para o sistema de condicionamento de ar, além de o sistema operar em arranjo de cogeração com os grupos geradores de energia, foi empregada a distribuição de ar variável prevendo a divisão por zonas térmicas (fachadas e internas), e com sensores de controle da qualidade do ar na região de retorno do mesmo.

Dados de economia energética

O São Paulo Corporate Towers foi o primeiro empreendimento brasileiro a obter pré-certificação LEED Platinum 3.0 Core and Shell. O resultado aceito pelo U.S. Green Building Council foi de 49,9% de redução de custo anual de energia em relação ao modelo de referência (linha de base) da ASHRAE 90.1-2007. Foi a maior pontuação (21 pontos) para o crédito de “Otimização da Eficiência Energética” do LEED no Brasil para a tipologia LEED BD+C Core and Shell. Importante destacar que este empreendimento foi certificado com o emprego da Metodologia LEED BD+C Core and Shell V3 (2009).

3.5 Estudo de caso 4 – Planetário da Gávea

O Planetário da Gávea possui uso Público/Educacional e, por ser um edifício existente, a participação de tecnologias digitais se deu por meio de uma reforma de eficiência energética [96-99].

Quadro 3.5 – Estudo de caso 4 – Planetário da Gávea.

Fonte: Elaboração própria.

Título: Convênio Light SESA – Fundação Planetário	Uso principal: Exposição
Município: Rio de Janeiro – RJ	Zona Bioclimática: ZB 8
Bairro: Vila Gávea	CEP: 22451-070
Fase do ciclo de vida do edifício	Reforma e operação
Tipologia da edificação	Público/Educacional
Tecnologias digitais utilizadas	Modelagem Energética da Edificação (BEM) Modelo de Fluidodinâmica Computacional (CFD) Simulação de iluminação natural Sensores e atuadores
Redução no consumo de energia (%)	Entre 1,84% e 63,02%, a depender do equipamento avaliado.
Área construída (m²)	10.051 m²
Instituições participantes	Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro Light Serviços de Eletricidade GIZ – Agência Alemã de Cooperação Técnica Universidade Federal de Santa Catarina/Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar

Características arquitetônicas do projeto

O prédio do Planetário da Gávea é um prédio pertencente à Fundação Planetário, uma instituição com a missão de difundir a Astronomia e a Ciência. A construção é composta por dois prédios interligados:

- O Prédio do Planetário, construído em 1970, com um pavimento térreo e 1.150m²;
- O Prédio do Museu do Universo, construído em 1998, com quatro pavimentos (sendo um subsolo) e 8.900m².



Figura 3.5 – Fotografia do Planetário da Gávea.

Fonte: Divulgação/Diário do Rio.

Iniciativas de eficiência energética

As iniciativas de eficiência energética adotadas (parcialmente executadas) descritas a seguir foram desenvolvidas no âmbito de um Instrumento de Convênio com a Light Serviços de Eletricidade S.A. e de acordo com o Plano Estratégico 2013-2022 da Fundação Planetário. Tais iniciativas constituíram a base para obtenção da Etiqueta Parcial de Projeto PBE Edifica, Classe A para Envoltória e Classe A para Iluminação.

Envoltória

- Substituição da cobertura envidraçada do Domo (entrada do Museu do Universo) por módulos fotovoltaicos vidro-vidro de melhor fator solar e menor transparência, integrados à arquitetura do edifício (BIPV – Building Integrated Photovoltaics) – não executado;

- Redução da absorção solar da cobertura com a pintura dos terraços em cores claras;
- Manutenção da cobertura naturalizada visando uma reduzida transmitância térmica para minimizar o aporte de calor aos ambientes internos;

Sistema de iluminação

- Redução da potência instalada no sistema de iluminação com a substituição de todas as lâmpadas existentes por iluminação em LED;
- Melhor aproveitamento da luz natural nos ambientes internos (escritórios, banheiros e outros) pela instalação de sensores fotoelétricos nas luminárias próximas às janelas;
- Instalação de interruptores em ambientes onde inexistiam dispositivos de controle manual para o acionamento independente da iluminação;

- Instalação de sensores de presença no estacionamento interno (ambiente no subsolo com área superior a 250 m²);
- Substituição das luminárias externas por sistema LED, sendo parte acionada por geração fotovoltaica integrada.

Sistema de condicionamento de ar

- Reforma da Central de Água Gelada (CAG);
- Modernização e automação dos Fan coils;
- Implantação de Sistema Supervisório para o Sistema de Ar-Condicionado.

Descritivo de soluções digitais

A modelagem energética da edificação foi utilizada na fase de desenvolvimento do projeto de reforma do Planetário para avaliação do desempenho energético da envoltória da edificação com vistas ao atendimento da Classificação A (mais eficiente) na Etiqueta PBE Edifica pela implementação das medidas de eficiência energética previstas. O *software* utilizado na simulação termoenergética foi o Energy Plus.

A modelagem fluidodinâmica (CFD) da edificação foi utilizada para avaliação do conforto térmico da entrada do Museu do Universo a fim de prever o impacto dos futuros módulos fotovoltaicos vidro-vidro integrados à arquitetura e na busca da redução do aquecimento proveniente da cobertura. Já que a superfície fotovoltaica é menos reflexiva que a superfície do vidro, a seleção do sistema fotovoltaico levou em consideração mecanismos para evitar (ou reduzir) a penetração do calor no ambiente estudado.

Por conta da futura instalação dos módulos fotovoltaicos também foi realizada simulação computacional da

iluminação natural por meio do *software* Ecotect. O principal objetivo foi analisar a diferença da iluminância resultante da substituição da cobertura envidraçada do Domo e buscar obter uma melhor distribuição da incidência luminosa no interior. A análise de iluminação natural foi realizada em 54 pontos distribuídos em três pavimentos e na rampa de acesso existente.

Os sensores instalados são responsáveis pela medição das grandezas que se desejam gerenciar, controlar ou simplesmente conhecer. No caso, são utilizadas pelo sistema de condicionamento de ar do Planetário. Os atuadores, dentro de uma lógica de controle pré-estabelecida, transformam energia geralmente elétrica em mecânica para exercer a função desejada pela automação.

Dados de economia energética

- Envoltória: a diferença de consumo final de energia projetada pela adoção das medidas de eficiência energética na envoltória, comparando o Modelo Real e o Modelo de referência, é de 2,66 kWh/área condicionada, o que é equivalente à: 16.030 kWh/ano ou uma redução de 1,84%.
- Sistema FV: estimou-se que a microgeração fotovoltaica (do tipo vidro-vidro) a ser instalada na cobertura do Domo deverá gerar de: 37.815 kWh/ano, o equivalente a cerca de 3% do consumo total de energia elétrica da edificação.
- Iluminação: redução de 37.309 W de potência instalada, o equivalente a uma redução de 63,02%.
- Condicionamento de ar: a Medição e Verificação (M&V) do desempenho do novo condicionamento de ar instalado indicou uma economia de energia elétrica de: 896 MWh/ano ou uma redução de 42,55%.

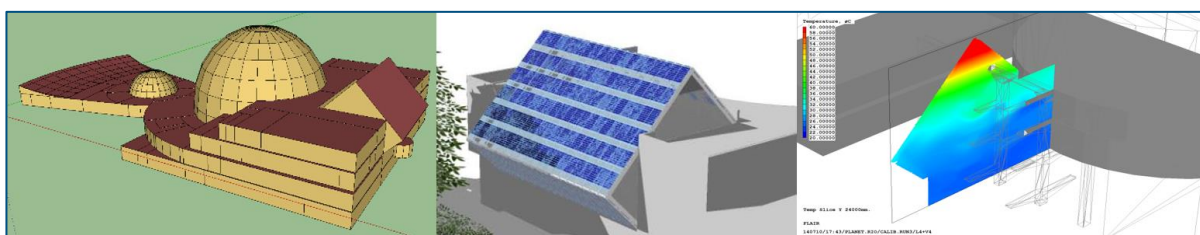


Figura 3.6 – Modelos geométricos do projeto proposto e imagem da simulação CFD do Planetário da Gávea.
Fonte: [98].

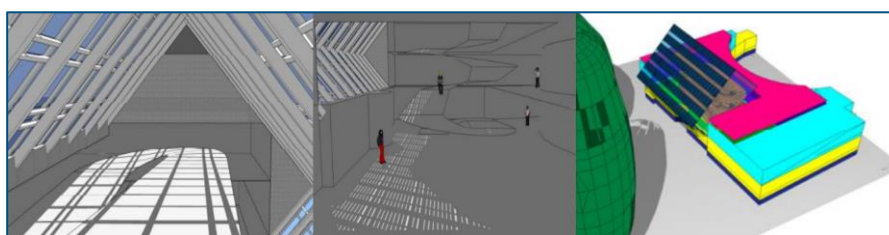


Figura 3.7 – Imagens da simulação de iluminação natural do Planetário da Gávea.
Fonte: [99].

3.6 Considerações finais

As iniciativas de emprego de soluções digitais apresentadas para os casos do AQWA Corporate e São Paulo Corporate Towers são de fato relevantes para o contexto aqui abordado, mas cabe ressaltar que são exemplos excepcionais no cenário nacional, bastando observar o seu entorno para verificar que seus pares não seguem padrões similares.

Analogamente, as soluções digitais apresentadas no caso do Planetário da Gávea trouxeram, incontestavelmente, benefícios para a edificação, uma vez que a situação de operação pré-reforma era conhecida, havendo, portanto, um valor de referência disponível. Há casos, entretanto, em que é mais difícil segregar os valores de eficiência oriundos das medidas de melhoria (principalmente as de digitalização), por conta da sua implementação desde a origem da edificação. Esta dificuldade se acentua quando, após o início da operação destas edificações, não se computa o ganho em eficiência energética de forma segregada para cada solução digital implementada.

A iniciativa de emprego de solução digital apresentada para o caso Minha Casa Mais Sustentável é particularmente interessante, na medida em que, com baixo custo para o empreendimento como um todo, dado o custo diluído para as diversas unidades habitacionais contempladas. A simulação termoenergética durante a fase de projeto proporcionou alterações de projeto para oferecer considerável incremento de conforto térmico e alguma redução no custo operacional previsto. Percebe-se que existe potencial de ganhos em eficiência energética, com baixo custo, quando consideramos o emprego de simulações na fase de projeto, principalmente em edificações com grande número de unidades habitacionais. Para as edificações residenciais unifamiliares, não foram encontrados casos com registros suficientes para um reporte adequado ao presente estudo.

Após pesquisas e análises de casos nacionais de adoção de soluções digitais em edificações, ratifica-se que mesmo havendo exemplos importantes, a sua adoção ainda é incipiente frente à quantidade de empreendimentos que surgem em território nacional. Adicionalmente percebe-se a dificuldade da montagem de estudo de casos, na medida em que as informações associadas não são adequadamente computadas para serem divulgadas.

No Apêndice 3, encontram-se os profissionais e instituições que colaboraram no fornecimento de dados e informações, bem como no esclarecimento dos estudos de caso.

4. Recomendações

Buscando envolver o maior número possível de especialistas, gestores e formuladores de políticas públicas na fase propositiva do estudo, planejou-se a formulação de recomendações em dois níveis:

Equipe técnica:

Análise de documentos de referência [1; 48; 49; 57; 100 - 102] e realização de entrevistas semiestruturadas conduzidas junto a especialistas (Apêndice 1), visando identificar proposições de relevância para a digitalização no segmento de edificações e eficiência energética nas próximas décadas.

Representantes e convidados do GT Edificações:

Validação das recomendações formuladas pela equipe técnica e proposição de novas recomendações durante o Workshop “Digitalização e eficiência energética em edificações no Brasil: análise das barreiras e recomendações”, realizado em 09 de novembro de 2021. O Apêndice 2 sintetiza a proposta deste Workshop, incluindo a lista de participantes e a formação dos grupos de trabalho organizados em torno das quatro categorias de barreiras à digitalização no segmento de edificações.

Isso posto, propõe-se nos Quadros 4.1 a 4.4 um conjunto de recomendações associadas às barreiras analisadas no Capítulo 2, como resultado do processo participativo previsto para a fase propositiva deste estudo.

Quadro 4.1 – Recomendações associadas a barreiras institucionais B11 a B14. Fonte: Elaboração própria.

Recomendação	Barreira
<p>RB11 – Revisar o marco institucional relativo à eficiência energética:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer governança que garanta a coordenação entre diversas políticas setoriais (habitação, transporte, CT&I, educação, meio ambiente, saúde, indústria, energia, etc.); • Estabelecer e publicar agenda de longo prazo de aplicação de recursos de programas como, por exemplo, PROCEL e PEE/ANEEL, porém não restrito a esses em um contexto de maior coordenação institucional e integração das iniciativas de eficiência energética; • Reforçar a atuação do MME e MDR na coordenação setorial de políticas voltadas ao fomento à eficiência energética no segmento de edificações. 	B11
<p>RB12 – Elaborar um plano conjunto com participação de órgãos governamentais, instituições públicas, privadas e do terceiro setor para promover a digitalização no segmento de edificações, na perspectiva de explorar sinergias e integrar instrumentos de política sob o controle de diferentes órgãos.</p>	B11
<p>RB13 – Criar fundos público-privados de apoio à inovação, na modalidade de fundos não reembolsáveis para pesquisa colaborativa, financiamento coletivo (<i>crowdfunding</i>), financiamento coletivo turbinado (<i>matchfunding</i>), fundos patrimoniais, entre outros.</p>	B12
<p>RB14 – Desenvolver programas/serviços em nichos com maior espaço para o desenvolvimento tecnológico nacional, com foco em soluções digitais para a eficiência energética em edificações (<i>mission-oriented</i>).</p>	B12
<p>RB15 – Direcionar o esforço de instituições de C&T e empresas para o desenvolvimento de soluções digitais aplicáveis a edificações, adotando o modelo de plataformas tecnológicas, entre outras possibilidades, sob a coordenação do MCTI e suporte do MME, MDR e ME.</p>	B12

Quadro 4.1 – Recomendações associadas a barreiras institucionais B11 a B14. (Continuação)

Recomendação	Barreira
RB16 – Fortalecer a cooperação técnica MDR - ABNT, com a abrangência estendida para os demais setores governamentais competentes, entidades de classe e instituições de C&T, para acelerar o processo de criação, atualização e publicação das normas brasileiras.	B13
RB17 – Criar instrumentos para incentivar a participação do Brasil nos fóruns internacionais de normalização em digitalização.	B13
RB18 – Desenvolver e divulgar casos de sucesso de aumento da produtividade e eficiência energética com a utilização de soluções digitais em edificações, por tipologia e fase do ciclo de vida.	B14
RB19 – Criar programas de intercâmbio internacional tecnológico e comercial, principalmente com países líderes nas soluções digitais aplicáveis a edificações e direcionados a empresas do setor da construção civil e do segmento de edificações.	B14
RB110 – Incluir a temática da digitalização como ferramenta de alavancagem da eficiência energética nos fóruns de discussão existentes do segmento produtivo de edificações.	B14

Legenda: B1 – Implementação das diversas políticas públicas setoriais de forma descoordenada, sem sinergia entre os órgãos competentes.

B2 – Retração dos investimentos em CT&I com impacto na digitalização de setores da economia.

B3 – Processos de normalização e regulamentação não acompanham o ritmo de evolução das tecnologias digitais.

B4 – Parte dos representantes do segmento de edificações no Brasil resistem a normas e regulamentos e suas aplicações.

Quadro 4.2 – Recomendações associadas a barreiras mercadológicas e financeiras BM1 a BM7. Fonte: Elaboração própria.

Recomendação	Barreira
RBM1 – Aperfeiçoar a tributação destinada ao setor de construção civil e ao segmento de edificações e criar mecanismos de financiamento em condições diferenciadas para o desenvolvimento e adoção das soluções digitais aplicáveis.	BM1 BM6
RBM2 – Criar linhas de crédito específicas associando tecnologias digitais a edificações eficientes.	BM1 BM6
RBM3 – Incorporar soluções digitais (principalmente IOT) na linha branca de eletrodomésticos, possibilitando incluí-los em programas de rebate e no PEE ANEEL.	BM1 BM6
RBM4 – Incentivar Certificação DEO voluntária, por meio de programas como linhas de crédito específicas.	BM1 BM4
RBM5 – Criar programas para desenvolvimento de fornecedores de bens e serviços ligados às tecnologias digitais para o segmento de edificações.	BM2
RBM6 – Promover a inserção de tomadas inteligentes para controle do consumo de energia elétrica nos financiamentos de habitações de interesse social (HIS), por meio de tarifa branca e suporte para a resposta à demanda.	BM3
RBM7 – Criar e manter atualizado um Sistema Integrado de Informações em Eficiência Energética no Brasil, para interface amigável viando interação com os públicos de interesse e operações internas (<i>back office</i>) com bases de dados discretizadas (incluindo dados do segmento de edificações segregados por tipologia e fase do ciclo de vida).	BM4
RBM8 – Tornar obrigatória a etiquetagem de novas construções e reformas de edificações comerciais, residenciais e públicas de forma programada planejada e transparente, com níveis mínimos especificados por tipologia e por etapa do ciclo de vida, visando à obrigatoriedade de toda nova edificação e reforma, do mercado formal, em obter o nível “A” do PBE Edifica após 2035.	BM4
RBM9 – Atualizar benchmarks para as tipologias de edificações mais representativas no mercado, em termos quantitativos e de intensidade de uso energético, preferencialmente por meio de uma interface única para divulgação.	BM4
RBM10 – Regulamentar Certificação de Desempenho Energético de Edificações em Operação (DEO) e recertificações automáticas, a partir dos dados oriundos dos medidores inteligentes e baseadas em modelos remotos de auditoria e abertura de informações de energia.	BM4
RBM11 – Tornar obrigatória a certificação DEO por tipologia de forma programada planejada e transparente, com níveis mínimos especificados.	BM4
RBM12 – Estimular por meio de incentivos regulatórios ou linhas de crédito específicas) a adoção de soluções tecnológicas e digitais de ponta em reformas de edificações, de modo a aproveitar os custos de oportunidade.	BM5
RBM13 – Promover a criação por parte dos municípios de incentivos de mercado como a outorga onerosa do direito de construir para implantação de soluções digitais para eficiência energética em edificações.	BM2
RBM14 – Criar projetos específicos de P&D+I relacionados à digitalização em edificações, com vistas à eficiência energética.	BM2 BM4
RBM15 – Estabelecer normalização específica para mensuração e avaliação do desempenho de equipamentos integrados às edificações, bem como papéis e responsabilidades em relação ao seu uso e garantia.	BM7
RBM16 – Fomentar o mercado de seguros e resseguros relacionado à digitalização de edificações.	BM7

Legenda: BM1 – Inexistência de linhas de crédito específicas para a implementação de soluções digitais nas edificações.
 BM2 – Custos altos iniciais da adoção de soluções tecnológicas em edificações por pioneiro.
 BM3 – Baixo poder aquisitivo de usuários de algumas tipologias para adoção das soluções digitais.
 BM4 – Baixa disponibilidade de informação sobre o potencial e custos das oportunidades de eficiência energética.
 BM5 – Custos de oportunidade (necessidade de reformas) não aproveitados para reformas com foco em eficiência energética e digitalização.
 BM6 – Impacto dos custos de implementação da digitalização em Habitações de Interesse Social (HIS).
 BM7 – Falta de definição precisa de papéis e responsabilidades em relação ao uso e garantia de equipamentos incorporados à edificação.

Quadro 4.3 – Recomendações associadas a barreiras técnicas BT1 a BT5. Fonte: Elaboração própria.

Recomendação	Barreira
RBT1 – Adotar uma abordagem internacional relacionada à regulamentação técnica para minimizar eventuais efeitos negativos relacionados à falta de interoperabilidade entre soluções digitais.	BT1
RBT2 – Promover o desenvolvimento de soluções digitais centradas no ser humano aplicáveis a edificações.	BT1
RBT3 – Viabilizar investimentos de infraestrutura de telecomunicação (internet), principalmente voltados para banda larga e rede móvel, com vistas à ampliação do acesso adequado à digitalização.	BT2
RBT4 – Fortalecer os mecanismos e programas para a padronização de materiais e serviços em construção civil.	BT3
RBT5 – Propor normalização referente a eletrodomésticos e outros equipamentos com inteligência embarcada.	BT3
RBT6 – Propor normalização relacionada à Internet das Coisas (IoT) em suas aplicações em edificações.	BT3
RBT7 – Adotar padrões de segurança cibernética a fim minimizar o número de ataques cibernéticos, bem como legislação adequada prevenir e responder aos incidentes.	BT4
RBT8 – Promover financiamento em instituições de C&T para desenvolvimento da Internet das Coisas (IoT).	BT3
RBT9 – Promover o desenvolvimento de dispositivos totalmente wifi para serem conectados a equipamentos eletrônicos/elétricos não inteligentes de fábrica, evitando obras de infraestrutura e a necessidade de troca (antes do término de sua vida útil) por equipamentos inteligentes.	BT5

Legenda:

- BT1 – Interfaces não amigáveis dificultando a adoção das soluções digitais.
- BT2 – Falta de infraestrutura de internet para disponibilizar acesso amplo e de qualidade para o fomento da digitalização em edificações.
- BT3 – Estágio embrionário no país da padronização de processos, materiais e equipamentos no segmento de edificações.
- BT4 – Insegurança cibernética.
- BT5 – Adoção da digitalização em residências e pequenos comércios/serviços existentes, por requerer obras civis, pode inviabilizar sua implementação.

Quadro 4.4 – Recomendações associadas a barreiras comportamentais e de qualificação de mão de obra especializada BC1 a BC7. Fonte: Elaboração própria.

Recomendação	Barreira
<p>RBC1 – Estabelecer plano de comunicação integrado específico para cada público de interesse em digitalização de edificações e eficiência energética no país, enfatizando-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Benefícios não só financeiros, mas também climáticos (redução de emissões de GEE); • Possibilidade de empoderamento da gestão do consumo de energia por parte do usuário; • Mapeamento das tecnologias digitais para cada público-alvo; • Sensibilização para a proteção contra práticas de <i>greenwashing</i> no segmento de edificações. 	<p>BC1 BC2 BC3 BC7</p>
<p>RBC2 – Criar ou reformular grades curriculares em cursos profissionalizantes e de ensino superior em relação aos temas digitalização e eficiência energética.</p>	<p>BC4 BC5</p>
<p>RBC3 – Elaborar um plano de capacitação contínua de profissionais prestadores de serviços associados à digitalização em edificações, enfatizando-se a delimitação clara do escopo da capacitação, para não ficar muito abrangente. Um exemplo seria um curso com foco em cada um dos domínios abordados neste estudo.</p>	<p>BC5</p>
<p>RBC4 – Incentivar programas de competências tecnológicas nas empresas que atuam no segmento de edificações.</p>	<p>BC5</p>
<p>RBC5 – Implementar medidas que permitam um tempo de transição para adaptação do mercado à digitalização no segmento de edificações.</p>	<p>BC6</p>
<p>RBC6 – Implementar medidas para coibir práticas de <i>greenwashing</i> no segmento de edificações, incluindo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Denúncias a órgãos de defesa do consumidor; • Exposição/divulgação de casos de <i>greenwashing</i> em edificações; • Homogeneização dos parâmetros ESG para empresas do segmento de edificações, de modo a construir um arcabouço robusto e confiável de avaliação. 	<p>BC7</p>

Legenda:

- BC1 – Resistência do setor de construção civil a novas tecnologias digitais em edificações.
- BC2 – Baixa confiança do usuário em relação aos benefícios da adoção das soluções digitais e segurança cibernética.
- BC3 – Cultura de eficiência energética na sociedade brasileira.
- BC4 – Grades curriculares defasadas em cursos profissionalizantes e no ensino superior em relação aos temas digitalização e eficiência energética.
- BC5 – Baixa oferta de educação profissional e treinamento em digitalização de edificações.
- BC6 – Mudanças tecnológicas rápidas dificultam o mercado a se manter atualizado.
- BC7 – *Greenwashing* de edificações.

Referências

- [1] BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EPE. **PNE 2050. Plano Nacional de Energia**. Brasília: MME.EPE, 2020.
- [2] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT. GIZ. **Relatório Preliminar do Projeto Parcerias Energéticas** (Energiepartnerschaften BRASILIEN). Número: 18.9022.7-005.00. Seção 2.2. Apêndice 3. Mimeo. Rio de Janeiro, 2021.
- [3] GODET, M. **A caixa de ferramentas da prospectiva estratégica: problemas e métodos**. Lisboa: Caderno do Centro de Estudos de Prospectiva e Estratégia, n.5, 2000.
- [4] SCHWARTZ, P. **Scenario planning: Managing for the future**. West Sussex, England, 1998.
- [5] ZWICKY, F. **Discovery, invention, research through the morphological approach**. New York: Macmillan Publishers, 1969.
- [6] BANCO CENTRAL DO BRASIL. BACEN. **Boletim Focus - Relatório de Mercado - 26/11/2021**. Brasília: BACEN, 2021.
- [7] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Dados Estatísticos**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/indicadores>. Acesso em: 30 nov. 2021.
- [8] BANCO CENTRAL DO BRASIL. BACEN. **Histórico das metas para a inflação**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicometas>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [9] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **PNAD Contínua - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html?=&t=destaques>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [10] BRASIL. **Lei nº 12.187**, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília, 2009.
- [11] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. MMA. **Contribuição Nacionalmente Determinada**. Brasília: MMA, 2015.
- [12] BRASIL. SENADO FEDERAL **Projeto de Lei nº 6539**, de 2019. Altera a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, para atualizá-la ao contexto do Acordo de Paris e aos novos desafios relativos à mudança do clima. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/140343?pivwl>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [13] NDC REGISTRY. **Paris Agreement. Brazil's Nationally Determined Contribution (NDC)**. 2021. Disponível em: <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/Pages/Party.aspx?party=BRA>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [14] SACHS, J. D.; SCHMIDT-TRAUB, G.; KROLL, C.; LAFORTUNE, G.; FULLER, G. **Sustainable Development Report 2021**. Cambridge University Press, 2021.
- [15] ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: ANEEL, 2012.
- [16] INMETRO. **Informação ao consumidor: Tabelas de consumo/eficiência energética**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [17] ELETROBRAS. PROCEL. **Resultados PROCEL 2021: Ano-base 2020**. Rio de Janeiro, 2021.
- [18] INSTITUTO ACENDE BRASIL. **Perdas comerciais e inadimplência no setor elétrico**. White Paper. São Paulo: Instituto Acende Brasil, 2017.
- [19] BRASIL. **Decreto nº 9.612**, de 17 de dezembro de 2018. Dispõe sobre políticas públicas de telecomunicações. Brasília, 2018.
- [20] BRASIL. **Decreto nº 9.854**, de 25 de junho de 2019. Institui o Plano Nacional de Internet das Coisas e dispõe sobre a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina e Internet das Coisas. Brasília, 2019.

- [21] MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. MCTI. **Câmara das Cidades 4.0**. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/camara-cidades>. Acesso em: 23 out. 2021.
- [22] BRASIL. **Projeto de Lei nº 976**, de 19 de março de 2021. Institui a Política Nacional de Cidades Inteligentes (PNCI). Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2274449/>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [23] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. MME. **Consulta Pública nº 33**, de 5 de julho de 2017. Aprimoramento do marco legal do setor elétrico: proposta de medidas legais que viabilizem o futuro do setor elétrico com sustentabilidade a longo prazo. Brasília: MME, 2017.
- [24] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. MME. **Portaria nº 403**, de 29 de outubro de 2019. Institui o Comitê de Implementação da Modernização do Setor Elétrico. Brasília: MME, 2019.
- [25] BRASIL. **Lei nº 14.300**, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nº 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, 2022.
- [26] BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Programa Casa Verde e Amarela**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/casa-verde-e-amarela>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [27] BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Portaria nº 959**, de maio de 2021. Dispõe sobre os requisitos para a implementação de empreendimentos habitacionais no âmbito da linha de atendimento Aquisição subsidiada de imóveis novos em áreas urbanas, integrante do Programa Casa Verde e Amarela.
- [28] BRASIL. **Lei nº 11.124**, de 16 de junho de 2005. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social – SNHIS, cria o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social – FNHIS e institui o Conselho Gestor do FNHIS. Brasília, 2015.
- [29] FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional e inadequação de moradias no Brasil**: principais resultados para o período de 2016 a 2019. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 2021.
- [30] Ministério da Economia. ME. Governo digital. Disponível em: <https://www.gov.br/governodigital/pt-br>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [31] BRASIL. **Série Especial 5G**. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2021/11/leilao-do-5g-confirma-expectativas-e-arrecada-r-47-2-bilhoes>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [32] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. ABNT NBR 15965-1**, de 14 de julho de 2011. Sistema de classificação da informação da construção – Parte 1: Terminologia e estrutura. São Paulo: ABNT, 2011.
- [33] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. ABNT NBR ISO/IEC 27701: 2019 Versão Corrigida 2020**, de 25 de novembro de 2019. Técnicas de segurança para gestão da privacidade da informação – requisitos e diretrizes. São Paulo: ABNT, 2020.
- [34] BRASIL. **Lei nº 13.709**, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [35] ELETROBRAS. PROCEL. **Pesquisas de Posses e Hábitos 2019**: Medidas de economia de energia adotadas. Disponível em: https://eletrobras.com/pt/SiteAssets/Paginas/PPH-2019/RESUMO_EXECUTIVO_BRASIL_BR.pdf. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [36] COMMITTEE FOR EUROPEAN CONSTRUCTION EQUIPMENT. CECE. **Digitalizing the construction sector**: Unlocking the potential of data with a value chain approach. Bruxelas: CECE, 2019.
- [37] EUROPEAN COMMISSION. **Digitalisation in the construction sector**. Bruxelas: European Commission, 2021.
- [38] BRASIL. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Instrução Normativa nº 2**, de 04 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Brasília, 2014.
- [39] ELETROBRAS; PROCEL. **Resultados PROCEL 2019**: Ano-base 2018. Rio de Janeiro, 2019.

- [40] AGARWAL, R.; CHANDRASEKARAN, S.; SRIDHAR, M. **Imagining construction's digital future**. 2016. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/imagining-constructions-digital-future>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [41] OLIVER WYMAN. **Digitalization of the construction industry: the revolution is underway**. 2018 - Disponível em: https://www.marshmcclennan.com/content/dam/mmc-web/Files/OliverWyman_Digitalization_in_the_construction_industry_web_final.pdf. Acesso em: 03 dez. 2021.
- [42] PROCELINFO. **PROCEL: O Programa**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [43] INMETRO. **Sobre o PBE Edifica**. 2021. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [44] BRASIL MINISTÉRIO DA ECONOMIA. INMETRO. **Portaria nº 42**, de 24 de fevereiro de 2021. Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002707.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [45] BNDES. **Fundo para eficiência energética do BNDES receberá aporte de R\$ 30 milhões do PROCEL**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [46] BRASIL. **Portaria nº 403, de 29 de outubro de 2019**, que instituiu o Comitê de Implementação da Modernização – CIM. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. Publicado em: 30/10/2019 | Edição: 210 | Seção: 1 | Página: 58. Órgão: Ministério de Minas e Energia/Gabinete do Ministro.
- [47] BRASIL. **Governo Federal promove diálogos para construção do Plano Nacional de Habitação**. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2021/11/>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [48] BRASIL. MCTIC. **Publicada a Estratégia Nacional de Inovação**. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2021/07/>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [49] BRASIL. **Estratégia Nacional para a Disseminação do Building Information Modeling (BIM)**. 2018. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [50] BRASIL. **Decreto nº 10.306**, de 02 de abril de 2020. Estabelece a utilização do *Building Information Modelling* na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.306-de-2-de-abril-de-2020-251068946>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [51] BRASIL. **Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat**. PBQP-H. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/pbqp-h>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [52] BRASIL. **Decreto nº 10.332**, de 28 de abril de 2020. Institui a Estratégia de Governo Digital para o período de 2020 a 2022, no âmbito dos órgãos e das entidades da administração pública federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.332-de-28-de-abril-de-2020-254430358>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [53] BRASIL. MINISTERIO DA ECONOMIA. **Estratégia de Governo Digital - 2020 a 2022**. Disponível em: <https://www.gov.br/governodigital/pt-br/EGD2020>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [54] WORLD BANK. **GovTech Maturity Index: The State of Public Sector Digital Transformation**. 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10986/36233>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [55] MIT TECHNOLOGY REVIEW BRASIL. **Raio-X da transformação digital no Brasil em 2021: principais dados e insights**. 2021. Disponível em: <https://mittechreview.com.br/raio-x-da-transformacao-digital-no-brasil-em-2021-principais-dados-e-insights/>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [56] SEBRAE. GEM. **Global Entrepreneurship Monitor (GEM) 2020**. 2021. Disponível em: https://www.agenciasebrae.com.br/asn/Estados/NAVA_nexos/GEM-sebrae-poder360.pdf. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [57] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT. GIZ. **Uso de novas tecnologias digitais para medição de consumo de energia e níveis de eficiência energética no Brasil**. Brasília: GIZ, 2021.

- [58] BINZ, S. et al. **Inteligentes e eficientes: Soluções digitais para economia de energia em edifícios.** Tradução: SAID tradução simultânea. Programme for Energy Efficiency in Buildings (PEEB) Secretariat, 2019. Disponível em: https://www.peeb.build/imglib/downloads/PEEB_EEDU_S_Solu%C3%A7%C3%B5es_Digitais.pdf. Acesso em: 04 out. 2021.
- [59] SERVIÇO NACIONAL DA INDÚSTRIA. SENAI. **Mercado de cibersegurança cresce em meio à pandemia.** 2021. Disponível em: <https://www.senaimt.ind.br/noticias/2205/mercado-de-ciberseguranca-cresce-em-meio-a-pandemia>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [60] PWC. **2022 Global Digital Trust Insights.** Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/issues/cybersecurity/global-digital-trust-insights.html>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [61] CASADO-MANSILLA, D. et al. A human-centric & context-aware IoT framework for enhancing energy efficiency in buildings of public use. **IEEE Access**, v.6, p. 31444-31456, 2018.
- [62] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **IEA EBC - Annex 79 - Occupant-centric building design and operation.** Disponível em: <https://annex79.iea-ebc.org/>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [63] O'BRIEN, W.; WAGNER, A.; SCHWEIKER, M. et al. Introducing IEA EBC annex 79: Key challenges and opportunities in the field of occupant centric building design and operation. **Building and Environment**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106738>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [64] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **IEA EBC - Annex 87 - Energy and indoor environmental quality performance of personalised environmental control systems.** Disponível em: <https://www.iea-ebc.org/projects/project?AnnexID=87>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [65] BRIANTI, L.; FUKUOKA, R.; FERNANDES. P.P. et al. **Profissões do futuro na área de energia e implicações para a formação profissional.** Brasília: Ministério de Minas e Energia. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2021.
- [66] SANYAL, S. **Top 10 low-code or no-code platforms for building AI products.** 2021. <https://www.analyticsinsight.net/top-10-low-code-or-no-code-platforms-for-building-ai-products/>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [67] WONG, J. **The importance of citizen development and citizen IT.** 2019. Disponível em: <https://blogs.gartner.com/jason-wong/importance-citizen-development-citizen/>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [68] NETO, N. N.; MADNICK, S.; PAULA, A. M. G.; BORGES, N. M. Developing a global data breach database and the challenges encountered. **Journal of Data and Information Quality**, v. 13, n.1, p.1-33, 2021.
- [69] GAVA, M. **Pesquisa mostra consumidores preocupados com segurança digital.** 2021. Disponível em: <https://www.capterra.com.br/blog/2155/seguranca-digital>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [70] VERMA, P.; SAVICKAS, R.; BUETTNER, S. M.; STRÜKER, J.; KJELDEN, O.; WANG, X. **Digitalization: enabling the new phase of energy efficiency.** GEEE-7/2020/INF.3/2020. Economic Commission for Europe. Committee on Sustainable Energy. Group of Experts on Energy Efficiency, 2020.
- [71] ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. COMMITTEE ON SUSTAINABLE ENERGY. GROUP OF EXPERTS ON ENERGY EFFICIENCY. **Updated framework guidelines for energy efficiency standards in buildings.** ECE/ENERGY/GE.6/2020/4. 2020. Disponível em: https://unece.org/sites/default/files/2020-12/ECE_ENERGY_GE.6_2020_4e.pdf. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [72] ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. COMMITTEE ON SUSTAINABLE ENERGY. GROUP OF EXPERTS ON ENERGY EFFICIENCY **Energy efficiency standards in buildings: analysis of progress towards the performance objectives.** ECE/ENERGY/GE.6/2021/4. 2021. Disponível em: https://unece.org/sites/default/files/2021-06/ECE_ENERGY_GE.6_2021_4_EE%20Standards.pdf. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [73] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. IEA. **Digitalization & Energy.** Paris: IEA, 2017. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [74] UNITED NATIONS ECONOMIC AND SOCIAL COUNCIL. UNECE. **Improving efficiency of buildings through digitalization - policy recommendations from the Task Force on Digitalization in Energy.** Geneva: UNECE, 2021. Disponível em: https://unece.org/sites/default/files/2021-06/ECE_ENERGY_GE.6_2021_5_Policy%20recommendations_final.pdf. Acesso em: 02 dez. 2021.

- [75] ELETROBRAS. PROCEL. **Caracterização dos domicílios**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNDNkNTVhY2YtZDMzZS00YjNkLTJhMjMwLThjMWItNGY5Y2RkZWl4N2NiliwidCI6IjhhMGZmYjU0LTk3MjYtNGE5My05MTU4LTllM2E3MjA2ZjE4ZSJ9>. Acesso em: 02 mar. 2022.
- [76] BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Fator médio - Inventários corporativos**. <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/clima/paginas/fator-medio-inventarios-corporativos>. Acesso em: 02 mar. 2022.
- [77] CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. CGEE. **Percepção das empresas sobre a normalização técnica para a Indústria 4.0 no Brasil**. Nota Técnica. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2021.
- [78] BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. BNDES. **BNDES FINEM (Financiamento a empreendimentos) - Meio Ambiente - Eficiência Energética**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-eficiencia-energetica>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [79] BARRIENTOS, M. I. G. G. **Retrofit de edificações: estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais**. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.
- [80] MCAFEE® LABS. **Relatório do McAfee Labs sobre ameaças**. 2021. Disponível em: <https://www.mcafee.com/enterprise/pt-br/assets/reports/rp-quarterly-threats-nov-2020.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [81] DALAL, V.; KRISHNAKANTHAN, K.; MÜNSTERMANN, B.; PATENGE, R. **Tech debt: Reclaiming tech equity**. 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/tech-debt-reclaiming-tech-equity>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [82] CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. CBIC. **Construção civil sofre com falta de mão de obra qualificada em Goiás** 2021. Disponível em: https://cbic.org.br/en_US/construcao-civil-sofre-com-falta-de-mao-de-obra-qualificada-em-goias/. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [83] DUNCAN, A. **Over 100 data and analytics predictions through 2025**. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/doc/100-data-and-analytics-predictions-through-2025>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [84] FUNVERDE. **O que significa greenwashing**. 2010. Disponível em: <http://www.funverde.org.br/blog/archives/tag/greenwashing>>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [85] GREER, J.; BRUNO, K. **Greenwash: the reality begin corporate environmentalism, third world network**. Penang: Malaysia, 1996.
- [86] SECRETARIA NACIONAL DE HABITAÇÃO – SNH / Ministério do Desenvolvimento Regional: Entrevista com Marina Amorim Cavalcanti de Oliveira em novembro de 2021.
- [87] ELETROBRAS/PROCEL EDIFICA: Entrevista com Elisete Cunha em novembro de 2021.
- [88] Rede de Habitação da FAU/UFRJ: Entrevista com Maria Lucia Pely em novembro de 2021.
- [89] UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA: Entrevista com Joyce Carlo em novembro de 2021.
- [90] CARLO, J. et al. **Relatório Final de Simulação: Proposta Final Frei Caneca Minha Casa Minha Vida Sustentável e Tipologias H nos climas do Rio de Janeiro e Salvador**. Rede de Eficiência Energética (R3E). Universidade Federal de Viçosa, 2015.
- [91] CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES. Entrevista com Eduardo Yamada em novembro de 2021.
- [92] TISHMAN SPEYER. **Site institucional**. Disponível em: <https://tishmanspeyer.com.br>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [93] ARCHDAILY. **Aqwa Corporate / Foster + Partners**. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/897569/aqwa-corporate-foster-plus-partners>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [94] AQWA CORPORATE. **Site institucional**. Disponível em: <https://aqwa.com.br/>. Acesso em: 02dez. 2021.
- [95] SÃO PAULO CORPORATE TOWERS. **Site institucional**. Disponível em: <https://www.saopaulocorporatetowers.com.br/>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [96] PLANETÁRIO DA GÁVEA. **Site institucional**. Disponível em: <http://planeta.rio/>. Acesso em: 02 dez. 2021.

- [97] COSTA FILHO, M. A. F.; SOARES, D. R. M.; Aragão, L. G. P.; SANTOS, M. M. F.; GÓES, C. A. F. O. **Experimental evaluation of the thermal behavior of the Rio de Janeiro's Planetarium**. In: 23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering. Rio de Janeiro, 6-11 de dezembro de 2015. Disponível em: <https://abcm.org.br/anais/cobem/2015/PDF/COB-2015-1971.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- [98] SANTOS, M. M. F. et al. **Planetário Sustentável: estratégia de baixo carbono e o PBE Edifica**. GBC Brasil: Greenbuilding Brasil Conferência Internacional e Expo, 2016.
- [99] RUTHER, R. et al. **Planetário da Gávea: análise de iluminância**. UFSC: Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar, 2015.
- [100] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. EPE **Ações para promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras: no caminho da transição energética**. Nota técnica EPE/DEA/SEE/007/2020. Rio de Janeiro: EPE, 2020.
- [101] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. CNI. **Desafios para Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016.
- [102] DALL'AGNOL, F.; CACCIA, L. S.; MACKRES, E.; YU, A. **Acelerando a eficiência das edificações no Brasil: ações prioritárias para líderes urbanos**. Working paper. WRI Brasil, p. 1-29, 2018.

Apêndice 1 – Entrevistas semiestruturadas realizadas junto a especialistas

A metodologia para estabelecimento dos condicionantes do futuro, das barreiras à digitalização, das implicações estratégicas e das recomendações para a digitalização no segmento de edificações e eficiência energética nas próximas décadas se baseou na análise da situação atual ano base 2021 das áreas associadas ao objeto do estudo, na realização de dinâmicas com a utilização da expertise dos membros da equipe e de entrevistas semiestruturadas.

As barreiras e recomendações também contaram com a valiosa participação do GT-Edificações conforme descrito no Apêndice 2.

Este processo resultou na identificação de 22 condicionantes do futuro, sendo onze condicionantes políticos-regulatórios e onze não regulatórios e quatro grupos de barreiras e suas respectivas recomendações.

Os seguintes especialistas colaboraram fortemente neste estudo e gostaríamos de agradecer seu tempo, disponibilidade, experiência e visão de futuro:

- Prof. Titular Roberto Lamberts – UFSC;
- Dra. Alexandra Albuquerque Maciel – Analista do MME;
- Dr. Sergio Leusin – Sócio gerente da GDP-Gerenciamento e Desenvolvimento de Projetos;
- Prof. Sérgio Scheer – Vice-Presidente da BIM Fórum Brasil;
- Profa. Dra. Aurea Vendramin – CEO da Aurea Vendramin Consultoria e Engenharia

As entrevistas semiestruturadas foram conduzidas baseada no seguinte roteiro:

QUESTÃO 1: Dentre as políticas públicas e iniciativas no Brasil voltadas para a transformação digital nos mais diversos setores da economia, é possível identificar aquelas que são direcionadas ou que afetam o segmento de edificações residenciais, comerciais ou públicas? Em caso positivo, quais? Em particular, existem mecanismos em curso ou em desenvolvimento para digitalização de habitações de interesse social?

QUESTÃO 2: Duas das metas globais da Agenda 2030 definidas para o sétimo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7) referem-se à eficiência energética, a saber: “Até 2030, aumentar a taxa de melhoria da eficiência energética da economia brasileira”; e “Até 2030, expandir a infraestrutura e aprimorar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos”. Nesse contexto, que políticas públicas, instrumentos e iniciativas vêm sendo implementados no Brasil voltados para eficiência energética de edificações? E em que medida a digitalização pode ser um impulsionador chave para aumentar a eficácia dessas políticas, instrumentos e iniciativas?

QUESTÃO 3: No futuro, qual será o papel da digitalização no segmento de edificações, na expectativa de alcançar maiores níveis de conservação de energia?

QUESTÃO 4: Uma das questões deste estudo refere-se à inteligência adotada hoje na operação das edificações no Brasil e em outros países. Adota-se aqui a definição do UK-based European Intelligent Building Group: “Edificação inteligente consiste de um esforço multidisciplinar para integrar e otimizar as estruturas, materiais, sistemas e serviços inteligentes, a fim de criar um ambiente produtivo, econômico e ambientalmente aprovado para seus ocupantes”. Com base nesta definição, quais estruturas, materiais, sistemas e serviços inteligentes (p.ex. *Building Automation Systems* – BAS; *Building Management Systems* – BMS) já são adotados hoje na operação das edificações no Brasil? E em outros países? Existem diferenças entre a realidade da inteligência adotada hoje na operação das edificações no Brasil, comparada com aquela de outros países?

QUESTÃO 5: Quais são as tecnologias digitais que podem ser usadas para facilitar a auditoria/inspeção remota, visando a certificação de edificações? Você considera que a adoção da Norma NBR 19011: Auditoria Remota do Sistema de Gestão pode impulsionar o uso dessas tecnologias?

QUESTÃO 6: Com relação às tecnologias aplicadas à gestão da demanda predial e do entorno, o que poderia ser destacado neste estudo em termos de gestão do distrito, distrito inteligente, gestão da demanda predial e edifícios como produtores e acumuladores de energia (*smart grid*)?

QUESTÃO 7: Quais são os principais atores, interessados e influenciadores dos cenários de penetração sustentada de edificações inteligentes no Brasil no horizonte 2050?

QUESTÃO 8: Quais são os condicionantes dos cenários de penetração sustentada de edificações inteligentes no Brasil no horizonte considerado? Ou seja, quais são as forças motrizes (p.ex. política de incentivos para adoção de tecnologias digitais); tendências de peso (p.ex. continuidade de certificações de edificações); e fatos portadores de futuro (p.ex., novas gerações de BIMs)?

QUESTÃO 9: Para a construção dos cenários mais prováveis de penetração sustentada de edificações inteligentes no Brasil (2050), definiu-se a seguinte questão norteadora a ser respondida na fase prospectiva do estudo: “Que tecnologias digitais promoverão maior potencial de conservação de energia no setor de edificações em distintos cenários de digitalização, a saber, rápida, moderada e lenta?”.

QUESTÃO 10: Quais são as principais barreiras para que haja a penetração sustentada de edificações inteligentes (p. ex.: segurança de dados; inclusão digital; necessidade de investimento, etc.) no cenário de digitalização lenta? E no cenário de digitalização moderada? E, finalmente, no cenário de digitalização rápida? Acredita-se que gradualmente as barreiras possam ser transpostas, sendo que no cenário de digitalização lenta elas estarão mais evidentes.

QUESTÃO 11: Com relação às barreiras identificadas na questão anterior, que recomendações poderão ser encaminhadas para os principais atores, interessados e influenciadores dos cenários de penetração sustentada de edificações inteligentes no Brasil no horizonte 2050? Particularmente para as habitações de interesse social, que recomendações poderão ser endereçadas aos atores envolvidos nesta questão?

Adicionalmente foi realizada uma pesquisa online que visou subsidiar a construção de cenários de digitalização e eficiência energética no segmento de edificações no Brasil – horizonte de 2050. Esta pesquisa foi acessada através do link: <https://forms.office.com/r/8MTOZJwzfq>.

A primeira página da pesquisa está mostrada na figura abaixo.



Apêndice 2 – Workshop “Digitalização e eficiência energética no segmento de edificações no Brasil: análise das barreiras e recomendações”

Data e horário: 09 de dezembro de 2021

Modalidade: Virtual - Plataforma Zoom

Duração: 1 hora e 30 min

Participantes: Membros do GT-Edificações, representantes da GIZ, MME e MDR e equipe do Projeto.

Objetivos:

- Apresentar os resultados do Relatório Final do Projeto “Digitalização e Eficiência Energética no Setor de Edificações no Brasil”;
- Propor recomendações associadas ao equacionamento das barreiras à digitalização no segmento de edifícios no Brasil, no horizonte 2050, tendo como ponto de partida um conjunto de recomendações preliminares propostas pela equipe do Projeto;
- Promover a troca de ideias e compartilhamento das recomendações propostas neste Workshop.

Atividades prévias

- Leitura do Sumário Executivo do Relatório Final enviado aos participantes;
- Análise das recomendações, direcionada para uma das quatro categorias de barreiras:
 - i. Institucionais;
 - ii. Mercadológicas e financeiras;
 - iii. Técnicas;
 - iv. Comportamentais e de qualificação da mão de obra especializada.

Nota: Para a segunda atividade prévia, a Coordenação do GT-Edificações indicará a formação dos grupos em torno das quatro categorias de barreiras.

Programação

Atividade	Responsável	Duração	Descrição
Abertura	MME/GIZ/GT-Edif.	5 min	Objetivos gerais do workshop
Apresentação do Relatório Final	Growing Energy	20 min	Síntese dos resultados
Debate e orientações gerais sobre a condução da atividade em grupos	Growing Energy	5 min	Esclarecimentos quanto aos conteúdos apresentados
Formação dos grupos	Growing Energy	5 min	Organização dos grupos em salas virtuais
Atividade em grupos	Grupos com apoio da Growing Energy	20 min	Análise, discussão e preenchimento do <i>template</i> para apresentação (ppt)
Apresentação dos grupos e discussão plenária	Representantes de cada grupo	30 min (7 min por grupo)	Apresentações dos grupos: Recomendações por categoria de barreira à digitalização
Encerramento do Workshop	MME/GIZ	5 min	

Participantes

Participante	Instituição
Alessandra da Costa Barbosa	Cepel
Alexandra Albuquerque Maciel	MME
Ana Cristina Braga Maia	EPE
Andiara Campanholi	MDR
Anna Carolina Peres	Growing Energy
Elisete Alvarenga da Cunha	Eletrobras
Estefania Neiva de Mello	Eletrobras
George Alves Soares	Growing Energy
João Queiroz Krause	Growing Energy
José Sergio dos Passos Oliveira	MDR
Kristina Kramer	GIZ
Marcos Alexandre Izidoro da Fonseca	Growing Energy
Maria Fatima Ludovico da Gama e Souza	Growing Energy
Mariana Martins	CBIC
Myrthes Marcelle Farias dos Santos	Growing Energy
Natalia Gonçalves de Moraes	EPE
Rodrigo Flora Calili	Growing Energy
Stéphanie Gomes	GIZ
Telesmagnó Neves Teles	ME

Formação dos grupos

Grupo	Participantes
BI – Barreiras institucionais	Alexandra Albuquerque Maciel (MME) José Sergio dos Passos Oliveira (MDR) Telesmagnó Teles (ME) George Alves Soares (Growing)
BM – Barreiras mercadológicas e financeiras	Ana Cristina Braga Maia (EPE) Mariana Martins (CBIC) João Krause (Growing)
BT – Barreiras técnicas	Alessandra Barbosa (Cepel) Elisete Alvarenga da Cunha (ELB) Myrthes Marcelle (Growing) Marcos Fonseca (Growing)
BC – Barreiras comportamentais e de qualificação de mão de obra especializada	Estefania Mello (ELB) Natalia Gonçalves de Moraes (EPE) Andiara Campanholi (MDR) Anna Peres (Growing)

Apêndice 3 – Profissionais e instituições provedoras de informações sobre os estudos de caso

Expressamos nossos agradecimentos as instituições e profissionais que dedicaram seu tempo e disponibilidade para fornecer e esclarecer informações sobre os estudos de caso. A listagem se encontra estratificada por estudo de caso.

Estudo de caso 1 – Minha Casa Mais Sustentável

Pessoas entrevistadas

- Marina Amorim Cavalcanti de Oliveira - Secretária Nacional de Habitação - SNH / Ministério do Desenvolvimento Regional
- Elisete Cunha - Eletrobras/Procel Edifica
- Maria Lucia Percly - Rede de Habitação da FAU/UFRJ
- Joyce Carlo - Universidade Federal de Viçosa

Instituições envolvidas no projeto do prédio

- Secretaria Nacional de Habitação – SNH / MDR
- Eletrobras/Procel Edifica
- Prourb – Programa de Pós-Graduação em Urbanismo da UFRJ
- Rede de Habitação da FAU/UFRJ
- Rede de Eficiência Energética (R3E) / UFV

Estudo de caso 2 – AQWA Corporate

Entrevistado

- Eduardo Yamada - Centro de Tecnologia de Edificações - CTE

Instituições envolvidas no projeto do prédio

- Escritório de Arquitetura Foster + Partners
- Tishman Speyer Properties

Estudo de caso 3 – São Paulo Corporate Towers

Entrevistado

- Eduardo Yamada - Centro de Tecnologia de Edificações – CTE

Instituições envolvidas no projeto do prédio

- Participações Morro Vermelho S/A
- Escritório de Arquitetura Pelli Clarke Pelli Architects
- CBRE

Estudo de caso 4 – Planetário da Gávea

Instituições envolvidas no projeto do prédio

- Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro
- Light Serviços de Eletricidade
- GIZ – Agência Alemã de Cooperação Técnica
- Universidade Federal de Santa Catarina / Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar

