

---

MANUAL DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA COM  
**PAREDES DE CONCRETO**  
REQUISITOS PARA EDIFICAÇÕES PENAIS



Universidade de Brasília  
Parque Científico e Tecnológico da UnB  
Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído

Ministério da Justiça e Segurança Pública  
Departamento Penitenciário Nacional

# MANUAL DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA COM PAREDES DE CONCRETO: REQUISITOS PARA EDIFICAÇÕES PENAIS

Luiz Pedro de Melo Cesar  
Maria Vitória Duarte Ferrari  
Michele Tereza Marques Carvalho  
Patrícia da Silva Fiuza Pina  
Raquel Naves Blumenschein  
Thaís Oliveira Chaves Fontes



Brasília | 2022

**Universidade de Brasília**

Márcia Abrahão Moura

**Decanato de Pesquisa e Inovação**

Maria Emília Machado Telles Walter

**Parque Científico e Tecnológico - PCTec**

Carlos Alberto Gurgel Veras

**Parque de Inovação e Sustentabilidade do****Ambiente Construído - PISAC**

Raquel Naves Blumenschein

**Núcleo de Estudos e Pesquisas em Edificações****Especiais - NUESP**

Augusto Cristiano Prata Esteca

**Ministro da Justiça e Segurança Pública**

Anderson Gustavo Torres

**Diretora-Geral do Departamento Penitenciário****Nacional - DG**

Tânia Maria Matos Ferreira Fogaça

**Diretora Executiva do Departamento****Penitenciário Nacional - DIREX**

Vanessa Luz

**Coordenador-Geral de Modernização da****Engenharia e Arquitetura Prisional – CGMEAP**

Marcus Vinícius de Amorim Bohmgahrem

**Coordenador de Engenharia e Arquitetura**

Gabriel de Barcelos Conceição e Silva

---

**Autores****Coordenação Geral**

Raquel Naves Blumenschein

**Redação**

Luiz Pedro de Melo Cesar

Maria Vitória Duarte Ferrari

Michele Tereza Marques Carvalho

Patrícia da Silva Fiuza Pina

Raquel Naves Blumenschein

Thaís Oliveira Chaves Fontes

**Revisão Técnica**

Raquel Naves Blumenschein

**Revisão Ortográfica**

Eduardo Matos de Paula Félix

**Editoração e Diagramação**

Simetra LTDA

**Apoio Técnico**

Guilherme De Souza Fernandes

Guilherme Sternadt Alexandre Ramos

Joaquin Lucca Bastos Albernaz

Kamila Karen Fernandes Gomes

Tallita Karolline Nunes Rocha

Thaís Oliveira Chaves Fontes

Vinicius Aguiar Monteiro



UnB



PISAC



NUESP

PCTEC  
UnB

FINATEC



DEPEN

MINISTÉRIO DA  
JUSTIÇA E  
SEGURANÇA PÚBLICAPÁTRIA AMADA  
BRASIL  
GOVERNO FEDERAL





Este trabalho está licenciado sob a Licença Atribuição-Compartilhável 4.0 Internacional Creative Commons. Para visualizar uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> ou mande uma carta para Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Manual da construção industrializada com paredes de concreto [livro eletrônico] : requisitos para edificações penais / Luiz Pedro de Melo Cesar...[et al.] ; organização Raquel Naves Blumenschein. -- 1. ed. -- Brasília, DF : Simetra, 2022.  
PDF

Outros autores: Maria Vitória Duarte Ferrari, Michele Tereza Marques Carvalho, Patrícia da Silva Fiuza Pina, Raquel Naves Blumenschein, Thaís Oliveira Chaves Fontes

Vários colaboradores.

Bibliografia.

ISBN 978-65-85449-02-1

1. Arquitetura - Brasil 2. Concreto - Manutenção e reparos 3. Construção civil 4. Construções - Técnicas 5. Industrialização 6. Inovações tecnológicas 7. Presídios - Brasil I. Cesar, Luiz Pedro de Melo. II. Ferrari, Maria Vitória Duarte. III. Carvalho, Michele Tereza Marques. IV. Pina, Patrícia da Silva Fiuza. V. Blumenschein, Raquel Naves. VI. Fontes, Thaís Oliveira Chaves.

23-149767

CDD-720

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Arquitetura 720

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

## APRESENTAÇÃO

Este livro tem o objetivo de identificar os requisitos para a construção industrializada com paredes de concreto em edificações penais. O estudo de paredes de concreto em edificações penais foi realizado no âmbito do projeto “ESTUDOS E PESQUISA EM ARQUITETURA PENAL JUNTO AO DEPEN/MJSP”, desenvolvidos pelo Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído (PISAC), plataforma de inovação do Parque de Científico e Tecnológico da Universidade de Brasília (PCTec/UnB).

Esse projeto de pesquisa é objeto de um Termo de Execução Descentralizada (TED 01/2018), resultado da cooperação técnico-científica entre a Fundação Universidade de Brasília (FUB/UnB) e o Ministério da Justiça e da Segurança Pública (MJSP). As pesquisas, processos e produtos foram desenvolvidos a partir do fim de 2018 até janeiro de 2023 e são frutos da parceria do Núcleo de Estudos e Pesquisa de Edificações Especiais (NUESP/PISAC) e do Departamento Penitenciário Nacional (DEPEN).

O objeto do TED 01/2018 – (UnB/MJSP) é a realização de estudos e pesquisa para o fortalecimento do conhecimento específico da arquitetura penal, além dos processos e produtos da Cadeia Produtiva da Edificação Penal (CPEP), acelerando o atendimento das demandas do sistema penitenciário no Brasil. Envolve o incremento da capacidade técnica do DEPEN, com base na aplicação dos recursos tecnológicos produzidos no âmbito do NUESP.

Enfatiza-se a relevância dos estudos e pesquisas propostos, considerando o aumento da demanda por vagas no sistema penitenciário, reforçando a necessidade de construir novas unidades prisionais com sistemas construtivos racionais.

Os estudos e pesquisas no âmbito desse projeto ofereceram a oportunidade de avançar na avaliação do uso de parede de concreto na construção de edificações penais.

O livro digital proposto está estruturado em quatro itens:

1. Industrialização da Construção Civil;
2. Sistemas industrializados aplicados à edificação penal;
3. Requisitos para projeto de sistema de paredes em concreto; e
4. Considerações Finais.



# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 01</b>	
<b>Industrialização da Construção Civil</b>	<b>09</b>
Industrialização pelo Sistema Construtivo	11
Industrialização pelo Método de Produção	14
Industrialização com Sistemas de Gestão Tecnológicos	18
Implementação do Gêmeo Digital na Construção Civil	21
Paradigma da Indústria 4.0	25
Panorama Brasileiro	34
<b>CAPÍTULO 02</b>	
<b>Sistemas Industrializados Aplicados à Edificação Penal</b>	<b>40</b>
Sistema Supermax Norte-Americano e Sistema Monobloco Pré-Fabricado	41
Benefícios do Sistemas Industrializados para a Edificação Penal	47
<b>CAPÍTULO 03</b>	
<b>Requisitos Para Projeto de Sistema de Paredes em Concreto</b>	<b>56</b>
Levantamento de Requisitos	57
Identificação do Ciclo de Vida da Edificação	58
Especificações de Uso do Ambiente Construído	59
Especificações Técnicas do Sistema	60
Utilização do Building Information Modeling	61
Automação dos Processos de Construção do Sistema	63
Cumprimento dos Requisitos de Qualidade	66
<b>CAPÍTULO 04</b>	
<b>Considerações Finais</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>75</b>
<b>NORMATIZAÇÃO PARA COORDENAÇÃO MODULAR</b>	<b>83</b>



# **CAPÍTULO 01**

## **INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

A construção civil teve grande impulso no período após a Revolução Industrial, quando materiais convencionais historicamente usados, como o ferro e o vidro, passaram por processos técnicos de produção, ganhando escalabilidade. Os avanços dos conceitos aplicados aos referidos processos industriais, lastreados na primeira e na segunda fase da Revolução Industrial, encontraram na sua terceira fase, com início em 1950, a efetiva substituição das atividades humanas pela máquina e, de forma geral, por automatismos (BRUNA, 1976; BENÉVOLO, 2004).

As demandas relativas à construção consolidavam rapidamente novas configurações, destacando-se a construção de infraestrutura urbana e de edificações para atender usos institucionais, públicos e privados com melhor desempenho em relação à segurança contra incêndio, prioridade na época. Aos poucos meras substituições de materiais no ambiente construído deram lugar a modificações substanciais na forma e nas técnicas construtivas.

Historicamente, cabe aqui um destaque para o período após Segunda Guerra Mundial, quando houve a necessidade de reconstrução das cidades europeias, abrindo caminho para o desenvolvimento e avanço dos sistemas construtivos e materiais já utilizados, sendo a industrialização da construção a única alternativa operacional e técnica para as demandas complexas que se apresentavam (BLUMENSCHNEIN, 2021)<sup>1</sup>.

Assim, a industrialização buscava aumentar a produtividade e otimizar o desempenho da construção civil por meio de ações organizacionais e inserção de novas tecnologias, métodos e técnicas de planejamento e controle. Apesar das distintas interpretações, a industrialização abrange mudanças estruturais do processo de produção, não apenas da construção em si. A Organização das Nações Unidas (ONU, 1959), em relatório produzido visando redução no custo da construção civil em 1959, salienta o conceito de industrialização por meio de:

- Produção contínua, que requer demanda constante;
- Padronização dos produtos;
- Integração de diferentes etapas do processo de produção;
- Alto nível de organização do trabalho, bem como organizações do canteiro;
- Mecanização do trabalho; e
- Pesquisa e experimentação integradas à produção.

<sup>1</sup> O livro "Cadeia Produtiva das Edificações Penais" apresenta um breve histórico sobre a evolução da construção civil, destacando as principais transformações surgidas ao longo do processo evolutivo do ambiente construído.

Ao longo do tempo, características como o uso de energia e ferramentas mecânicas, o processo contínuo de produção, o aperfeiçoamento contínuo, a padronização dos produtos, a pré-fabricação, o uso de ferramentas e sistemas computadorizados, a racionalização da construção, a modulação e a produção massiva, configuraram os processos da construção industrializada (GIRMSCHEID; FRITS, 2010).

Levando essas características em consideração, é possível analisar a construção industrializada a partir da evolução técnico-organizacional dos processos sob três perspectivas: a industrialização pelo sistema construtivo; a industrialização pelo método de produção; e a industrialização com o auxílio de sistemas de gestão tecnológicos, especificamente o *Building Information Modelling* (BIM) ou, em português, Modelagem da Informação da Construção.

Tais processos, respectivamente apresentados a seguir, contêm parâmetros e requisitos importantes, presentes em normas técnicas e estudos que integram este documento, voltado a auxiliar o processo de projeto e a construção de edificações penais com paredes de concreto.

### **Industrialização pelo Sistema Construtivo**

A industrialização está essencialmente relacionada aos conceitos de organização, repetição e padronização do produto e mecanização dos meios de produção (BRUNA, 1976). Para explorar o potencial da industrialização e suas aplicações no ambiente construído, em vedações verticais e horizontais, estruturas, coberturas, ligações e montagens, é preciso conhecer a tecnologia do sistema construtivo utilizado, incorporando ao projeto arquitetônico soluções necessárias para a sua viabilidade.

Coelho (2004) observa que para obter resultados satisfatórios ao projetar com um sistema industrializado é preciso, principalmente: evitar a simples substituição de um material por outro; repensar os parâmetros tradicionais de projeto; estudar e compreender as propriedades e características do material ou dos materiais constituintes do sistema e dos sistemas complementares; definir previamente os subsistemas, para manter o nível desejado de industrialização da construção; incorporar à arquitetura detalhes construtivos eficientes para as ligações entre estrutura e vedações.

É importante lembrar que sistemas industrializados são incompatíveis com improvisações no canteiro de obras e que o processo de industrialização da construção começa no projeto, com o *design* e compa-



tibilização dos sistemas e componentes complementares. Portanto, a omissão de informações sobre o sistema construtivo pode resultar em expressivos custos acumulados nas etapas de execução.

Cabe aqui uma contextualização sobre as definições de sistemas construtivos industrializados de ciclo fechado e de ciclo aberto. O primeiro, utilizado massivamente até a década de 1970, trata-se de sistemas produzidos inteiramente dentro das fábricas. Assim, o edifício surgia como resultado de pré-fabricações em série. Entretanto, o resultado estético e as possibilidades restritas de customização em massa geravam insatisfação dos projetistas e clientes.

Além disso, o edifício concebido num sistema de ciclo fechado pode apresentar elevado volume. Como o valor agregado em relação à massa do produto é baixo, o custo de transporte torna-se um fator crítico, limitando a abrangência econômica das empresas de pré-fabricados.

Especificamente em relação à pré-fabricação, Girmshceid (2010) listou cinco categorias de empreendimentos que utilizam sistemas desse tipo:

- Sistemas estruturais semi pré-fabricados, ou construção híbrida, em que se utilizam sistemas produzidos in loco e componentes pré-fabricados;
- Sistemas estruturais pré-fabricados, aqueles produzidos em uma fábrica e transportados até o local da obra, onde é feita a montagem dos elementos e finalização do acabamento;
- Elementos integrados pré-fabricados que consistem em um sistema composto de mais de um elemento. O autor traz o exemplo de uma parede composta por distintas camadas, onde elementos trazidos de fora do canteiro são montados a partir de encaixes;
- Módulos estruturais de ambientes pré-fabricados, semelhantes aos elementos pré-fabricados, porém, cada módulo compõem um ambiente interno e não somente componentes;
- Sistemas de construção que são sistemas próprios de construção, definidos por uma indústria e que permitem ao usuário escolher uma variedade de elementos que definem volumes, acabamentos internos, externos e esquadrias.

No segundo caso, a industrialização de ciclo aberto, há variabilidade nas combinações possíveis. Sob outra perspectiva, há também necessidade de estabelecer critérios e normalização para gerar um produto final, mais adequado à identidade arquitetônica concebida, assegurando que os componentes do sistema requerido possam ser conectados e permutáveis. Destaca-se que o alinhamento entre agentes (sejam projetistas, fabricantes ou construtores), ações e instrumentos da Cadeia Produtiva da Indústria da Construção (CPIC) é um aspecto

determinante para a implementação de sistemas industrializados produzidos em ciclo aberto.

Em relação ao sistema de estruturas de concreto pré-moldadas *in loco*, produzidas em ciclo aberto, observa-se a montagem da estrutura e a instalação posterior dos demais subsistemas como fechamentos internos, instalações complementares, esquadrias e revestimentos. Nota-se que embora os componentes elementares dos sistemas sejam industrializados, os componentes complementares podem ter processos de construção e execução industrializados, convencionais ou até mesmo artesanais.

Especificamente em relação à aplicação da modulação nos sistemas industrializados, ou coordenação modular<sup>1</sup>, exemplificado na Figura 1, nota-se que também há limitantes em função da replicabilidade do sistema para se obter customização e a individualização do projeto, ante a necessidade de acordos e intervenções setoriais e estatais para normalizar os componentes e os materiais.

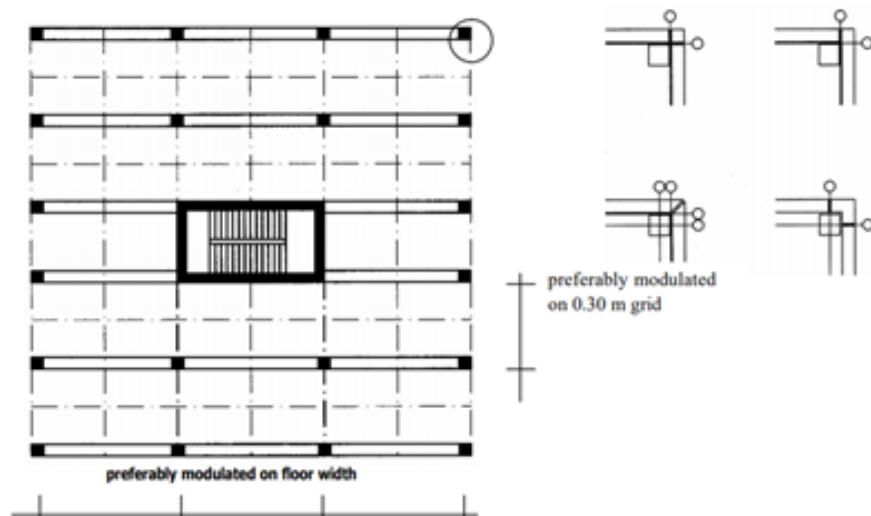


Figura 1 – Exemplo de Layout Modular para Estruturas Pré-Moldadas

Fonte: Smith (2010)

Em termos de definição, o termo padronização é também amplamente difundido nos processos de pré-fabricação. Distintos fabricantes têm padronizado seus componentes, adotando uma sessão transversal e dimensões padronizadas, por exemplo. Produtos padronizados são produzidos em formas preestabelecidas, o que possibilita ao projetista

1 Mascaró em sua obra “Coordinación modular? Qué es?” explica a Coordinación Modular como “um mecanismo de simplificação e inter-relação de grandezas e de objetos diferentes de procedência distinta, que devem ser unidos entre si na etapa de construção (ou montagem), com mínimas modificações ou ajustes”.

pré-determinar dimensões e capacidade de carga dentro dos limites desejáveis.

A pré-fabricação também pode ser aplicada a componentes não padronizados, aplicando algum elemento de diferenciação no projeto, de modo a torná-lo único, embora isso implique acréscimo de custos. Em síntese, entende-se que a padronização e a modulação são dois importantes fatores econômicos determinantes, a serem considerados em um processo de construção, sendo parte indissociável de um processo industrializado.

### **Industrialização pelo Método de Produção**

Importam, para a apreensão do sistema construtivo apresentado, duas definições extraídas da Norma NBR 9062: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, que concernem ao método de produção: o elemento pré-fabricado e o elemento pré-moldado (ABNT, 2017).

De acordo com essa Norma, elemento pré-fabricado é aquele produzido industrialmente, em instalações permanentes, com uso de mão-de-obra treinada e especializada, matéria-prima previamente qualificada, avaliada e inspecionada, havendo uma produção com auxílio de equipamentos e ferramentas e um processo documentado, com controle de qualidade. Elemento pré-moldado, é aquele produzido fora do local de utilização definitiva, sem a necessidade de um ambiente específico para a produção, ou seja, pode ser executado no próprio canteiro, implicando em um controle de qualidade menor em relação a elementos pré-fabricados, uma vez que há um controle menor quanto aos insumos e produto final.

O Quadro 1 sintetiza os fatores de influência e determinantes que caracterizam esses tipos de produção:

Quadro 1 – Fatores de influência e determinantes da pré-fabricação

Referência	Fatores de influência	Determinantes
Rosso (1980); Sabbatini (1989); Koskela et al. (1992).	Racionalização  [Complementa sistemas que não são totalmente industrializados]	Princípios de planejamento, organização e gestão visando eliminar a casualidade nas decisões e incrementar a produtividade do processo.

Referência	Fatores de influência	Determinantes
Tatum <i>et. al.</i> (1987).	Projeto	Gestão adequada e integração entre fornecedores, executores, gestores de custo, planejamento e executores, para garantir a correta especificação de componentes.
	Contratação e Aquisição	A escolha de profissionais e empresas, além da supervisão no recebimento e controle de qualidade dos componentes.
	Execução	O planejamento e controle da execução, sobretudo quanto aos prazos de execução, solicitação de insumos e controle de sequência de atividades.
Le Corbusier (1973); Greven e Baldauf (2007); Fabrício (2013);	Modulação ou coordenação modular	A coordenação e compatibilização devem viabilizar a produção de elementos pré-moldados permutáveis, o que implica construção racionalizada e eficaz.
Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto (2003).	Modulação	O fator econômico no projeto e na construção de edifícios pré-moldados. A padronização da construção para componentes estruturais.
Forbes e Ahmed (2011); Tommelein (2015); Mobuss (2017).	Produção enxuta e tecnologias enxutas	Mudanças individuais e organizacionais para avançar no modelo de construção industrializado, reduzindo ciclos de atividades e identificando atividades que não agregam valor.
MDIC (2017).	Metodologia BIM e coordenação modular	Mudanças processuais, tecnológicas e comportamentais; difusão da metodologia de gestão; apoio governamental.

Fonte: Rosso (1980); Sabbatini (1989); Koskela et al. (1992); Tatum et. al. (1987); Le Corbusier (1973); Greven e Baldauf (2007); Fabrício (2013); Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto (2003); Forbes e Ahmed (2011); Tommelein (2015); Mobuss (2017); MDIC (2018)

Outros fatores de influência impulsionaram o avanço dos métodos de produção industrializada, dentre os quais Koskela (1992) destaca, além da racionalização associada à pré-fabricação, a automatização dos processos, o uso da robótica, o uso de sistemas racionais de produção no canteiro de obras e sistemas de gestão da produção, voltados à racionalização dos processos, como o *Lean Production* e a Engenharia Simultânea. O autor complementa que a industrialização pode ser alcançada alterando o modo como os processos são estabelecidos durante a execução.

Segundo Mobuss (2017), o *Lean Construction*<sup>1</sup> permite a melhoria da construção civil por meio da busca da capacidade de controle dos processos nas indústrias tradicionais. A implementação do método objetiva um incremento na produtividade estabelecida por meio de uma relação mais próxima entre as etapas de projeto e execução e com o trabalho colaborativo. Com isso, há maior possibilidade de eliminar desperdícios e identificar atividades que não agregam valor.

Destaca-se que a implementação de metodologias *Lean* na gestão de obras demandam mudanças individuais e organizacionais, exigindo uma implementação progressiva para alcançar novas formas de produção. Nesse contexto é proposta uma evolução do paradigma do canteiro convencional, onde deve-se obter uma produção mais sustentável, partindo de uma indústria ainda manufaturada para um modelo de construção industrializado.

A inserção de tecnologias “enxutas” e a aplicação dos princípios que caracterizam a produção enxuta também envolvem os processos de pré-fabricação em ambiente industrial e a montagem *in loco* e pré-moldagem, podendo ser considerados, segundo Forbes e Ahmed (2011) como processos de melhoria da construção civil, convergindo com Koskela *et al.* (2010) acerca da possibilidade de redução da variabilidade do processo e redução do tempo de ciclo por meio da incorporação desses tipos de sistemas de produção.

Nesse contexto, destacam-se onze princípios do *Lean Construction*, apresentados por Koskela (1992) visando melhorias nos processos de produção da construção civil: reduzir o número de atividades que não agregam valor; aumentar o valor de produção considerando os requisitos do cliente; reduzir variabilidade; reduzir o tempo de ciclo; simplificar com a redução do número de passos e partes; aumentar a flexibilidade das saídas; aumentar a transparência do processo; focar no controle do processo global; introduzir melhoria contínua ao processo; equilibrar a melhoria nos fluxos por meio de melhoria nas conversões; fazer *benchmarking*.

Ainda em relação à produção enxuta, Johnsen e Drevland (2016) com-

---

<sup>1</sup> A partir do sistema de produção Toyotista, consagrado mundialmente, Koskela *et al.* (1992) propõem em seu estudo, “Application of the new production philosophy to construction”, a aplicação dos princípios “Lean Construction” para a Indústria da Construção. A aplicabilidade do sistema de gestão da construção enxuta está baseada na entrega de valor e na estratégia de equilíbrio entre tempo, custo e qualidade, observando-se as atividades e operações – transporte, espera, processamento e inspeção – durante a transformação de insumos (materiais e informação) em produtos intermediários (etapas da execução) e, em seguida, no produto final (edificação). Destaca-se quem tanto o termo “Lean Construction” quanto seus princípios, adaptados dos princípios de eliminação de perdas do Lean Production, estão consagrados no campo da construção civil.

plementam que a metodologia *Lean* impacta positivamente em três pilares da sustentabilidade: a sustentabilidade econômica, a ambiental e a social.

Quanto à sustentabilidade econômica, os princípios *Lean* aplicados na construção industrializada influenciam direta e indiretamente na construção civil, especialmente pela redução do número de passos ou partes. De acordo com esses princípios, *Lean* há uma busca pela redução de componentes do produto ou do número de passos existentes em um fluxo material, eliminando atividades que não agregam valor ao processo de produção do empreendimento. No que tange a industrialização da construção, isso pode ser alcançado com o uso de elementos pré-fabricados, com a formação de equipes polivalentes e de células de produção (KOSKELA *et al.*, 2010; KHODEIR; OTHMAN, 2018).

Outro princípio convergido diretamente com a premissa da sustentabilidade econômica é a flexibilidade na execução do produto, que implica customização por meio de tecnologias, gerando flexibilidade. Além disso, o princípio do controle sobre processo global e o princípio da transparência do processo também têm influência direta sobre os custos globais da construção, implicando, respectivamente, integração entre os diferentes níveis de planejamento e controle sobre os processos, erros e falhas.

Quanto à relação entre sustentabilidade ambiental, *Lean Construction* e a industrialização da construção, observa-se que há relevância nas decisões acerca do consumo e produção sustentável na construção civil, no controle dos desperdícios gerados em obras e na rastreabilidade de todo o processo, visando o ciclo de vida do empreendimento. Inclusive esses aspectos podem ser fonte de geração de indicadores de sustentabilidade para a LC.

Quanto à sustentabilidade social, destacam-se dois níveis de influência dos princípios *Lean* aplicados à construção industrializada: um nível global, relacionado com a população diretamente impactada pelo empreendimento, e um nível individual, relacionado ao capital humano envolvido na produção da construção.

No nível global, observa-se que decisões socialmente responsáveis indicam a integração de decisões ambientalmente menos impactantes em todo o setor, influenciando aspectos de qualidade de vida da população impactada pela construção, em função da tipologia construída, como geração de resíduos e geração de poluição (JOHNSEN; DREVLAND, 2016).

No nível individual, alguns aspectos preponderantes para a otimização dos processos produtivos, redução de retrabalho e consumo de mate-

riais incluem um local de trabalho mais seguro para o profissional, com apoio para a operacionalização das atividades e desenvolvimento das habilidades dos trabalhadores. Portanto, é preciso haver uma valorização do capital humano e intelectual, visando a aplicação dos métodos de produção enxutos e da organização das rotinas.

### **Industrialização com Sistemas de Gestão Tecnológicos**

Considera-se o BIM como uma metodologia ligada à gestão, de forma ampla, incluindo seus aspectos ferramentais e processuais. A metodologia BIM é baseada na parametrização de informações para as construções, representadas com uma modelagem digital tridimensional da edificação, bem como de seus elementos constitutivos, sendo capaz, ainda, de identificar e quantificar todas as suas partes.

Do ponto de vista do processo do projeto, o modelo ou modelagem BIM possibilita a compatibilização de informações funcionais úteis para as definições de projeto. Esse processo permite elencar elementos, em especial os pré-fabricados e pré-moldados, facilitando o controle das especificações realizadas, reduzindo falhas de logística e promovendo melhor gestão de obras (DARKO, 2020). Isso significa haver também certa previsibilidade sobre o comportamento do sistema adotado nas diversas etapas do ciclo de vida do empreendimento.

É importante destacar que o uso da metodologia BIM já se consolidou como uma tendência tecnológica, podendo impulsionar formas de produção e modelos de negócios inovadores em diversos aspectos, preconizados pela produtividade e eficiência das soluções para o ambiente construído, sendo considerado também um sistema tecnológico de apoio à construção industrializada (KOSKELA *et al.*, 2010).

Essa tendência faz parte da Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0<sup>1</sup>, caracterizada por um conjunto de tecnologias que permitem a convergência do âmbito físico e digital, cujos princípios comuns são o gerenciamento em tempo real; a descentralização da decisão baseada na análise de dados; a modularidade; a virtualização; e a interoperabilidade.

Nesse cenário, faz-se o uso de conceitos como Internet das Coisas (IOT), *Blockchain*<sup>2</sup>, Gêmeo Digital, Realidade Virtual e Realidade Au-

1 A seção 1.6 explica a caracterização da Indústria 4.0 bem como os termos comumente utilizados.

2 *Blockchain* é um sistema com capacidade de rastrear continuamente as atualizações de registros digitais, podendo ser eficaz no controle das informações trocadas sobre projetos. Também pode ser útil para registrar digitalmente contratos em BIM e, associado ao monitoramento da obra, controlar movimentações financeiras mediante o cumprimento dos padrões estabelecido em contrato.



mentada, exemplificando algumas tecnologias que podem ser associadas ao BIM.

Cabe aqui um destaque sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM – Estratégia BIM BR, instituída em 2018 por meio do DECRETO n° 9.377 de 17 de maio de 2018. A referida estratégia tem o intuito de fomentar o avanço no paradigma da indústria da construção nacional, alinhando iniciativas para um ambiente adequado à implementação e difusão do BIM.

Dentre os benefícios esperados com a aplicação do BIM nas obras governamentais que convergem com a seleção e adoção de sistemas industrializados, elementos industrializados e pré-fabricados como opção viável para as construções destacam-se (MDIC, 2017):

- Assegurar ganhos de produtividade ao setor de construção civil;
- Proporcionar ganhos de qualidade nas obras públicas;
- Aumentar a acurácia no planejamento de execução de obras, proporcionando maior confiabilidade de cronogramas e orçamentação;
- Contribuir com ganhos em sustentabilidade por meio da redução de resíduos sólidos da construção civil;
- Elevar o nível de qualificação profissional na atividade produtiva;
- Estimular a redução de custos existentes no ciclo de vida dos empreendimentos.

Em síntese, a intenção de ampliar a utilização efetiva do BIM com uma estratégia nacional é respaldada pelo fato do Estado ser o maior contratante da construção civil presente no mercado, portanto, um vetor de mudanças. Há o objetivo de, em dez anos, promover um ambiente adequado ao investimento de tecnologia BIM, com fases graduais. A primeira fase corresponde ao ano de 2021, com enfoque na elaboração de projetos de arquitetura e engenharia, etapa na qual será necessário detectar interferências<sup>1</sup>, revisar modelos digitais e a partir deles gerar documentação gráfica. Na segunda fase, em 2024, haverá ainda a exigência de um orçamento e planejamento em um ambiente BIM, enquanto a terceira fase, em 2028, haverá a exigência dos serviços de gerenciamento e de manutenção (MDIC, 2022).

No que tange os aspectos da coordenação modular, observa-se que o BIM permite a concepção e a definição geométrica precisa de pe-

<sup>1</sup> Para interferências adota-se, entre os usuários, o termo original *Clash Detection*.

ças pré-moldadas, a parametrização dos componentes, facilitando a aquisição e instalação de elementos pré-fabricados, além de uma visualização eficiente do fluxo do canteiro, logística de armazenamento e movimentação de peças pré-moldadas.

Portanto, espera-se que o método de coordenação modular seja amplamente utilizado com a adoção do BIM. Romcy *et al.* (2014) indicam que o BIM disponibiliza um ambiente virtual integrado em que conceitos da coordenação modular podem ser aplicados e compreendidos a partir de uma visualização clara do modelo e facilitada com a automatização de funções, podendo-se observar um exemplo na Figura 2, onde as dimensões e relações de grandezas do modelo são parametrizadas, facilitando o processo de industrialização.

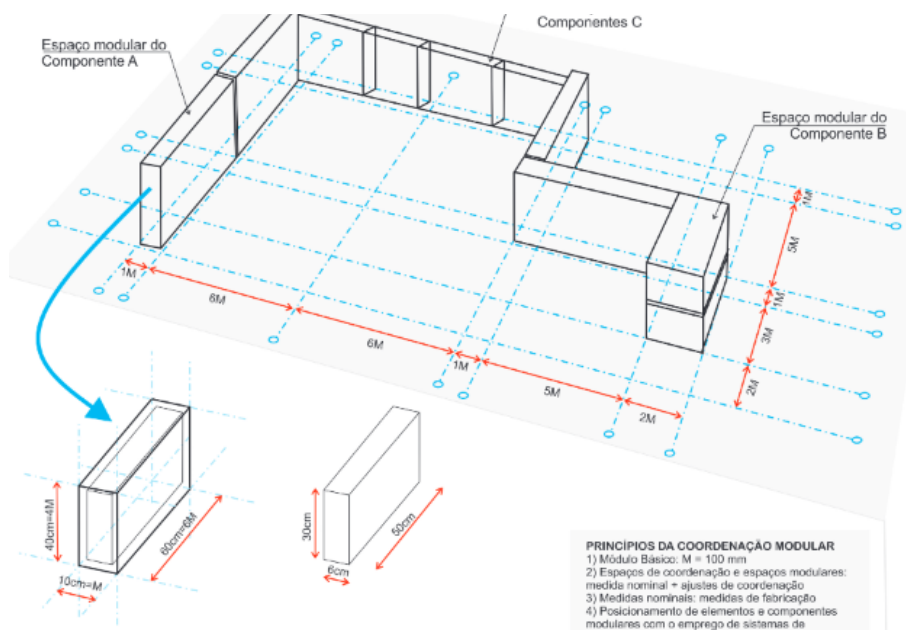


Figura 2 – Modelo de Projeto Modular  
Fonte: Fabrício (2018)

Contudo, faz-se uma ressalva de que, embora o uso do BIM possa influenciar a escalabilidade de soluções industriais na construção, o incentivo governamental à Coordenação Modular ocorre desde a década de 1950 com a Norma de Coordenação Modular Decimétrica, passando pela década de 1970, quando houve ações do Banco Nacional da Habitação (BNH) para difundir esse método como ferramenta para aplicação da racionalização na construção civil. É preciso lembrar que constam 26 publicações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ANEXO I) que podem ser consideradas iniciativas em prol da implantação da Coordenação Modular no país, dentre elas destacam-se também as normas vigentes da ABNT sobre Coordena-

ção Modular, raramente utilizadas, como a ABNT NBR 5706 (1977), a ABNT NBR 5725 (1982) e a Síntese da Coordenação Modular (ABNT, 1975).

### **Implementação do Gêmeo Digital na Construção Civil**

Glaessgen e Stargel (2020 ) apresentam o conceito de Gêmeo Digital aplicado à pesquisa de Veículos da NASA e da Força Aérea dos EUA<sup>1</sup>. Infere-se a partir da definição apresentada pelos autores que é possível identificar a aplicação do termo no campo da construção civil, denotando Gêmeo Digital como uma simulação probabilística integrada em termos físicos e em escala, com alta fidelidade da estrutura real, modelada através de um sistema tecnológico que use os melhores modelos disponíveis e de sensores físicos, se possível. Além disso, utilizam como base de referência os dados históricos do modelo, permitindo a mineração de dados e de texto.

Assim, a criação do Gêmeo Digital útil à construção pode se dar por meio da elaboração de um modelo paramétrico. Sua semelhança com a realidade dependerá da contínua melhoria e atualização periódica desse modelo, até que ele represente, em termos de caracterização geométrica, características físicas dos materiais e caracterização mecânica, uma representação perfeita do elemento (ANGJELIU *et al.*, 2019).

A característica de semelhança para a IC é um desafio em função da diversidade estrutural, funcional e configurativa inerente às edificações, seja durante a construção, decorrente do uso e manutenção e, ao final do ciclo de vida, com o retrofit, desmontagem ou demolição e destinação final dos resíduos.

O estudo de Angjeliu *et al.* (2019) pôde exemplificar como o uso do Gêmeo Digital é particularmente vantajoso para auxiliar operações relacionadas à avaliação e manutenção contínua. Para isso, os autores descrevem o desenvolvimento de um modelo de simulação para anali-

---

<sup>1</sup> Glaessgen e Stargel (2012, p.7) citam: *A Digital Twin is an integrated multi-physics, multiscale, probabilistic simulation of an as-built vehicle or system that uses the best available physical models, sensor updates, fleet history, etc., to mirror the life of its corresponding flying twin [...] The extreme requirements of the Digital Twin motivate the integration of design of materials and revolutionary approaches for material processing. Manufacturing anomalies that may affect the vehicle are also explicitly considered, evaluated, and monitored. In addition to the backbone of high-fidelity physical models of the as-built structure, the Digital Twin integrates sensor data from the vehicle's on-board integrated vehicle health management (IVHM) system, maintenance history and all available historical and fleet data obtained using data mining and text mining.*

sar aplicações do Gêmeo Digital em um edifício histórico de alvenaria, a Catedral de Milão.

Os autores explicam que o gêmeo digital é formado por três componentes: a realidade física, composta pela edificação real; o espaço gerado pelos seus elementos constituintes e sua geometria, o *big data*, ou conjunto dos dados constituintes de seus elementos que podem ser coletados ou informados pelos fabricantes e que o descrevem; e a realidade virtual, a qual é um simulacro da realidade, utilizando os dados obtidos e os organizando em uma modelagem semelhante à realidade física. Essa é a chamada tríade do gêmeo digital (realidade física, *big data* e realidade virtual) exemplificada pela Figura 3.

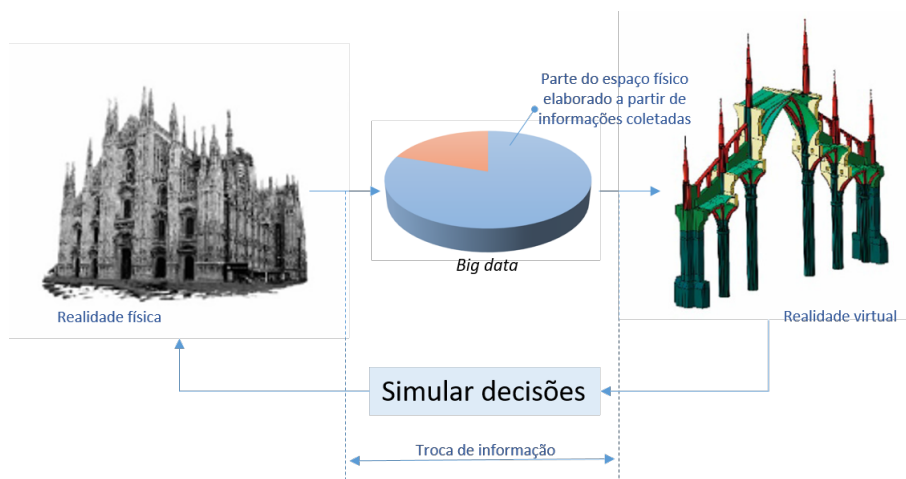


Figura 3 – Esquema conceitual de aplicação do gêmeo digital  
Fonte: Adaptada de Angjeliu et. al. (2019)

A princípio, os autores mostram que o modelo digital é construído de forma simplificada no início do projeto para, em seguida, ser atualizado continuamente. Essa atualização pode significar alteração dos dados geométricos, especificação adicional de materiais, melhoria das condições de contorno atribuídas ou até mesmo significar uma atualização dos dados reais da edificação.

Salienta-se que a construção do modelo de simulação virtual da catedral teve um fluxo de trabalho em três passos: entradas (coleta e classificação de dados); geração do modelo de simulação; e calibração e validação do modelo de simulação.

Em termos de desenvolvimento e melhoria do modelo, observa-se que para analisar o comportamento estrutural da edificação foi necessário modelar as estruturas principais e, em seguida, realizar um levantamento detalhado da edificação, adicionando os detalhes e elementos

secundários que, à primeira vista, não interferem na leitura global da estrutura, mas, em detalhes, é útil para analisar os danos observados (Figura 4).

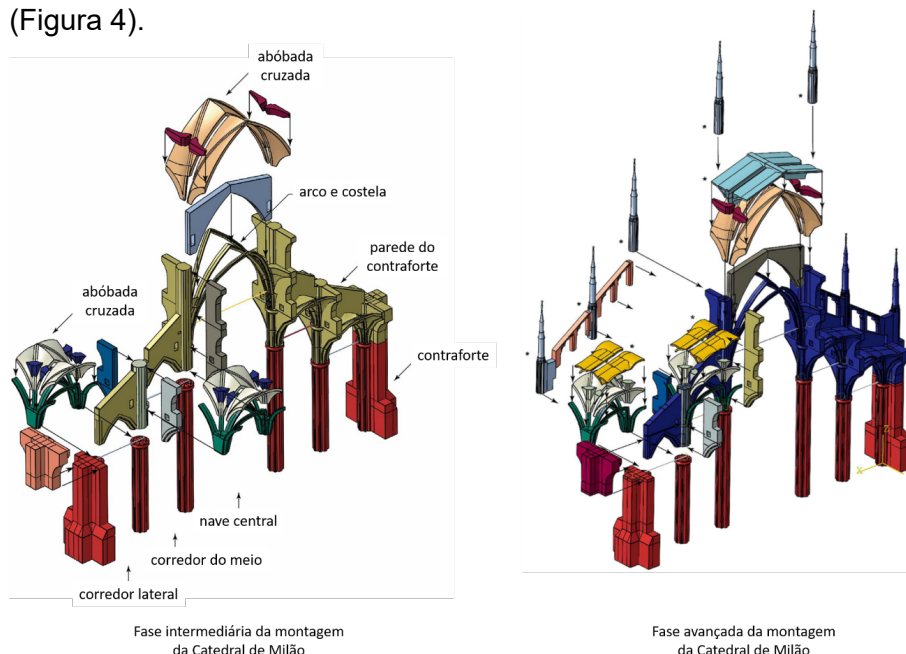


Figura 4 – Fases de modelagem da Catedral de Milão  
Fonte: Angjeliu et. al. (2019)

Como resultados, Angjeliu *et al.* (2019) obtiveram um estudo sobre a evolução estrutural dessa edificação, com monitoramento de parâmetros, a interpretação dessa configuração estrutural, a previsão de danos observados para manutenção preventiva e a orientação para operações de manutenção.

De maneira semelhante, os resultados do estudo de Hull e Ewart (2020) convergem com Angjeliu *et al.* (2020) no que tange a simulação para edificações históricas. Nesse caso, trata-se de uma construção na região da Ilha Stonington, Antártica. Os autores afirmaram que em edificações com tais características a adoção do Gêmeo Digital (Figura 5) permite especificar detalhes e calcular periodicidade de manutenção em subsistemas que sem o auxílio do BIM demandaria mais tempo.

De forma geral, a aplicação do BIM e do Gêmeo Digital para auxiliar a manutenção da edificação é eficaz porque há um volume elevado de documentações e informações necessárias para uma adequada gestão. Hull e Ewart (2020) consideram que métodos tradicionais, baseados em formulários, para determinar metodologias de manutenção, nem sempre facilitam esse processo, e a adoção do modelo BIM, além de auxiliar com a organização, facilita o acesso às referidas informações atualizadas, contribuindo com a integração da equipe envolvida.

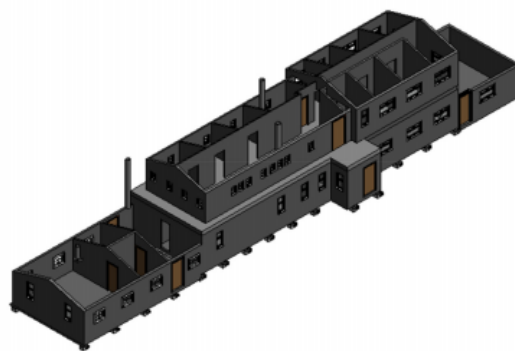
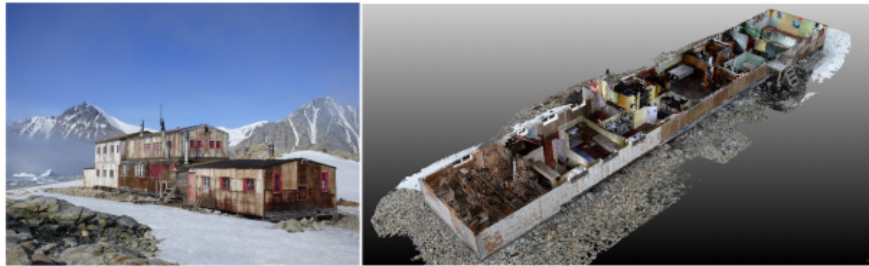


Figura 5 - modelo virtual de edificação na Antártica  
Fonte – Hull e Ewart (2020)

Em última análise, além das especificações de projetos que influenciam a durabilidade e o desempenho dos sistemas construtivos selecionados, também é preciso considerar critérios normativos de desempenho que englobam fatores como eficiência energética, desempenho estrutural, desempenho térmico e outros. Neste aspecto, a incorporação de *plugins* e modelos matemáticos adicionais ao BIM possibilita testar a viabilidade de diversos materiais, sistemas e disposições arquitetônicas que melhor atendam aos objetivos do projeto.

## Paradigma da Indústria 4.0

A preocupação com a transmissão de dados por meio de redes de computadores e a ideia de integrar remotamente produções industriais impulsionaram investimentos na tecnologia da informação desde a década de 1950. Essa necessidade reforçou a ideia do compartilhamento de informações de forma sigilosa e segura utilizando a tecnologia, premissa fundamental que estruturou o modelo mental da Indústria 4.0<sup>1</sup>.

Historicamente a cadeia produtiva com industrialização de processos produtivos tem passado por constantes mudanças nos seus métodos, processos e equipamentos. No atual estágio observa-se uma revolução baseada na inclusão de tecnologias nos processos produtivos, preconizados pela autonomia na tomada de decisão e pela transparência das relações entre humanos e máquinas (PEREIRA; SIMONETTO, 2018). Trata-se da busca por produtos, processos e procedimentos inteligentes (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Destaca-se que o paradigma constituído pelo modelo mental da Indústria 4.0 indica um fenômeno que está sendo estudado *a priori*, durante o seu acontecimento, diferente das últimas revoluções que modificaram a CPIC (HERMANN *et al.*, 2016; PEREIRA; SIMONETTO, 2018), analisadas como marcos históricos.

Investigar esse paradigma permite que as barreiras identificadas em relação à capacidade de autogestão, à customização dos produtos e em relação à integração homem-máquina sejam trabalhadas para acelerar mudanças que influenciam diversos níveis dos processos produtivos dessa cadeia e dos demais sistemas relacionados à produção rumo aos sistemas ciberfísicos (FIRJAN, 2016).

A interação entre o objeto de investigação – os sistemas produtivos industriais – e os atores sociais dessa cadeia tem resultado no aparecimento de inúmeras definições e conceitos que tanto contribuem para bases de estudos quanto multiplicam conotações acerca desses mesmos termos, como Internet das Coisas, Inteligência Artificial, *Big Data* e outros. Por isso, uma breve explicação sobre cada um desses termos será apresentada no Quadro 2, embora a ênfase seja na con-

---

1 A respeito do termo Indústria 4.0, ele foi lançado em 2011, na Feira de Hannover, com o projeto alemão “Plataforma Indústria 4.0” que visava a otimização do processo produtivo industrial por meio de sistemas automatizados de alta tecnologia. Na ocasião foi criado um grupo de trabalho público-privado (parceria entre Academia Nacional de Ciência e Engenharia (Acatech - National Academy of Science and Engineering) e Bosch. A partir de 2013 a Plataforma 4.0 foi divulgada por associações, empresas e Academias e, em 2015, foi relançada como programa do governo alemão.



textualização de um modelo mental que alinha todos eles ao sistema ciberfísico.

Drath e Horch (2014) apontam que a tendência a esse sistema é um processo imparável e crescente, pois há infraestrutura disponível e em melhoria contínua para a comunicação em sistemas de produção, auxiliando serviços de engenharia, configuração, diagnósticos e operação. Além disso, segundo os autores, é possível ter dispositivos conectados a uma rede de internet, capazes de armazenar dados em tempo real; e, por fim, esses dispositivos têm capacidade de armazenar documentos e informações sobre si dentro da rede, fora de sua estrutura física. Assim, essas informações podem ser atualizadas e a partir delas, algumas funcionalidades podem ser executadas.

Nesse cenário de múltiplas interpretações é útil listar os termos comumente vinculados à caracterização da Indústria 4.0 como um conjunto ciberfísico (Quadro 2), descrevendo também suas características compatíveis com processos tecnológicos digitais protocolados e integrados.

**Quadro 2 – Caracterização da Indústria 4.0**

Termos, definições ou características	Síntese / explicação
<p><b>Sistema Ciberfísico</b> Ahmed <i>et al.</i>, 2013 Hermann <i>et al.</i>, 2016 Li <i>et al.</i>, 2015</p>	<p>Sistema que reúne componentes que integram o mundo físico ao virtual. Inclui equipamentos que armazenam dados sobre o seu estado e realizam operações.</p>
<p><b>Big data e análise de dados</b> Rüßmann <i>et al.</i>, 2015 (pilares tecnológicos) Bahrin <i>et al.</i>, 2016 Trotta; Garengo, 2018</p>	<p>Conjuntos volumosos e complexos de dados que são coletados, armazenados e processados por tecnologias. Esses dados sobre a manufatura, obtidos de diversas fontes, podem auxiliar a tomada de decisão em tempo real.</p> <p>Esses conjuntos apresentam como características os “5 Vs”, segundo Trotta e Garengo (2018): i) volume – o tamanho do pacote de dados; ii) velocidade – o volume de dados que é gerado e analisado em um dado espaço de tempo; iii) variedade – dados de distintos formatos podem ser analisados com precisão; iv) valor – a definição da necessidade da análise para os dados; e v) veracidade – a informação analisada e processada deve ser confiável.</p>

Termos, definições ou características	Síntese / explicação
<p><b>Inteligência artificial</b></p> <p>Yao <i>et al.</i>, 2017 Lee <i>et al.</i>, 2018</p>	<p>Ciência cognitiva com pesquisas nas áreas de processamento de imagens, robótica, processamento linguagem natural, aprendizado de máquina e outros.</p> <p>Os parâmetros da IA aplicada à Indústria 4.0 incluem:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologia de Big data para comércio eletrônico, redes sociais, pesquisas online e aplicações governamentais;</li> <li>• Domínio de conhecimento e tecnologia analítica: métodos de aprendizado de máquina e algoritmos; produção de conteúdos descentralizados controle de estruturas;</li> <li>• Tecnologia da Computação na nuvem.</li> </ul>
<p><b>Internet das Coisas (IOT)</b></p> <p>Li <i>et al.</i>, 2015 Rüßmann <i>et al.</i>, 2015 (pilares tecnológicos) Hermann <i>et al.</i>, 2016 Bahrin <i>et al.</i>, 2016 Trappey <i>et al.</i>, 2016</p>	<p>A Internet das Coisas permite à indústria coletar e analisar volumes consideráveis de dados na nuvem, facilitando o controle e o monitoramento de todo o ciclo de vida da edificação.</p> <p>“Coisas” referem-se aos equipamentos e dispositivos, utilizados pelos usuários, com capacidade de conexão à rede. Esses equipamentos podem fazer parte de um sistema implantado para atingir um objetivo em comum.</p>
<p><b>Internet de Serviços (IOS)</b></p> <p>Schroth; Janner, 2007 Buxmann <i>et al.</i>, 2009 Hermann <i>et al.</i>, 2016</p>	<p>A IOS é o atrelamento de serviços à Internet das Coisas (IoT). Trata-se de uma perspectiva técnica de um ecossistema mais complexo cujo objetivo é apresentar tudo como um serviço na internet, incluindo aplicativos de <i>software</i>, a plataforma para desenvolver e entregar esses aplicativos, e a infraestrutura de rede. Muitas vezes esses serviços são inseparáveis e com interações específicas.</p>
<p><b>Fábricas Inteligentes</b></p> <p>Kagermann <i>et al.</i>, 2013 Hermann <i>et al.</i>, 2016 Bahrin <i>et al.</i>, 2016 Júnior; Saltorato, 2018</p>	<p>Formadas a partir da conectividade da Internet das Coisas e disponibilização de serviços da Internet dos Serviços. As Fábricas Inteligentes podem gerenciar redes sociais de humanos e máquinas com altas complexidades.</p>
<p><b>Produtos inteligentes ou objetos inteligentes</b></p> <p>Santos <i>et al.</i>, 2018</p>	<p>Máquinas, produtos ou dispositivos que trocam informações de forma autônoma, funcionando em colaboração com o mundo físico ao seu redor. Suas funcionalidades são facilitadas pela IOT.</p>
<p><b>Auto-organização e descentralização</b></p> <p>Lasi <i>et al.</i>, 2014</p>	<p>A auto-organização é obtida a partir da descentralização dos sistemas de manufatura.</p> <p>Esses dois termos podem ser entendidos quando se considera a possibilidade de a própria máquina ser responsável pela tomada de decisão, uma vez que ela consegue analisar dados e se autoajustar, avaliando necessidades da fábrica em tempo real e fornecendo informações sobre ciclos de trabalho.</p>
<p><b>Novos sistemas de distribuição e aquisição</b></p> <p>Lasi <i>et al.</i>, 2014</p>	<p>Sistemas requeridos para novos processos, mais individualizados, conectados e tratados a partir do uso de diferentes canais.</p>

Termos, definições ou características	Síntese / explicação
<p><b>Novos sistemas no desenvolvimento de produtos e serviços</b></p> <p>Lasi <i>et al.</i>, 2014</p>	<p>Sistemas concebidos de forma individual, com abordagens de inovação aberta, inteligência e memória de produto.</p>
<p><b>Sustentabilidade e gestão eficiente de recursos</b></p> <p>Lasi <i>et al.</i>, 2014</p>	<p>Responsabilidade social demandada nos processos de manufatura.</p>
<p><b>Racionalização</b></p> <p>Zhang <i>et al.</i>, 2016</p>	<p>Gestão e controle dos processos produtivos e de elementos de logística com enfoque na acurácia das quantidades, nas especificações de insumos, nas requisições e definições de suprimentos.</p>
<p><b>Robôs autônomos</b></p> <p>Rüßmann <i>et al.</i>, 2015 (pilares tecnológicos)</p>	<p>Robôs com autonomia crescente.</p>
<p><b>Simulação</b></p> <p>Rüßmann <i>et al.</i>, 2015 (pilares tecnológicos)</p>	<p>A simulação é a ação de um modelo representar a realidade a partir do seu grau de conectividade, normalmente envolvendo integração de base de dados e uma interface amigável para utilização de ferramentas de suporte à decisão.</p> <p>Além disso, essa simulação pode gerar testes de otimização de parâmetros.</p>
<p><b>Integração de sistemas horizontal e verticalmente</b></p> <p>Rüßmann <i>et al.</i>, 2015 (pilares tecnológicos)</p>	<p>Integração viabilizando redes inter companhias e automação.</p>
<p><b>Segurança cibernética ou cibersegurança</b></p> <p>Rüßmann <i>et al.</i>, 2015 (pilares tecnológicos)</p>	<p>Construção de tecnologias efetivas para a segurança de dados.</p>
<p><b>Computação em Nuvem</b></p> <p>Rüßmann <i>et al.</i>, 2015 (pilares tecnológicos)</p> <p>Bahrin <i>et al.</i>, 2016</p>	<p>Compreende tecnologias para o processamento de dados remotamente, sendo utilizada para aplicações empresariais e análise de dados.</p>
<p><b>Manufatura aditiva</b></p> <p>Rüßmann <i>et al.</i>, 2015 (pilares tecnológicos)</p> <p>Gorni, 2007</p>	<p>Processo de fabricação baseado na adição de material em camadas planas (impressão 3D) diretamente a partir de fontes de dados, gerados por sistemas de projeto auxiliado por computador.</p> <p>Construção de produtos customizados, de forma descentralizada, reduzindo despesas com estoque, a partir do uso de tecnologias como as impressoras 3D.</p>

Termos, definições ou características	Síntese / explicação
<p><b>Realidade aumentada</b> Rüßmann et al., 2015 (pilares tecnológicos)</p>	<p>Compreende a inserção de objetos virtuais no ambiente físico, em tempo real, com o apoio de dispositivos tecnológicos vestíveis, como relógios, pulseiras e óculos de realidade virtual.</p> <p>Suporta uma grande variedade de sistemas e auxilia a tomada de decisão.</p>
<p><b>Interoperabilidade</b> Hermann et al., 2015</p>	<p>Possibilidade de máquinas e sistemas estarem conectados e entenderem os dados compartilhados. O objetivo é se comunicar entre si, gerando relatórios e centralizando a gestão.</p>
<p><b>Virtualização</b> Hermann et al., 2015</p>	<p>Virtualização significa criar camadas de abstração sobre hardware físico, podendo ser sistemas de redes, de armazenamento, de máquinas virtuais, de aplicativos e outros.</p> <p>Esse processo também implica monitoramento de processos físicos pelo Sistema Ciberfísico.</p> <p>A virtualização pode ajudar o humano a lidar com a crescente complexidade técnica, pois o sistema notifica falhas, indica passos futuros de trabalho e medidas de segurança.</p> <p>Uma cópia virtual é criada com dados vinculados a modelos de plantas virtuais e modelos de simulação.</p>
<p><b>Capacidade em tempo real</b> Júnior; Saltorato, 2018 Hermann et al., 2015</p>	<p>Sistemas automatizados fazem o controle operacional e de qualidade em tempo real, reagindo às falhas.</p>
<p><b>Orientação à serviços</b> Hermann et al., 2015 Kagermann et al., 2013</p>	<p>Esse termo apresenta duas conotações: (i) arquitetura do sistema ciberfísico é orientada a serviços; e (ii) novos modelos de negócios orientados a serviços, para atender demandas individuais de clientes e fornecer soluções por meio de redes de cooperação entre parceiros de negócios.</p>
<p><b>Modularidade</b> Hermann et al., 2015</p>	<p>Possibilidade de que módulos sejam acoplados e desacoplados de acordo com a demanda de cada obra, com flexibilidade na alteração de tarefas.</p>

Fonte: Adaptado de Ahmed et al. (2013); Bahrin, et al. (2016); Buxmann et al. (2009); Hermann et al. (2016); Junior; Saltorato (2018); Kagermann et al. (2013); Lasi et al. (2014); Li et al. (2015); Rüßmann et al. (2015); Santos et al. (2018); Trappey et al. (2016); Trotta; Garengo (2018)

Brettel *et al.* (2017) observam que a 4.<sup>a</sup> Revolução tem sido mais amplamente reconhecida devido à otimização da indústria, sobretudo no que concerne aos acréscimos no uso de digitalização, à automatização e à análise da valoração em termos digitais do ciclo de vida do empreendimento, desde sua concepção, até o desenvolvimento e fim de vida útil, aspectos que reúnem as características acima listadas.

No que tange o ciclo de vida do empreendimento, é possível siste-

matizar um gerenciamento de cada uma das suas etapas a partir da abordagem de processos orientada pelo Guia PMBOK (*Project Management Body Of Knowledge*)<sup>1</sup>, sobretudo para auxiliar a necessária racionalização da construção civil visando a otimização das relações entre prazo e custo, evitando falhas quanto às especificações de materiais, processos logísticos de suprimentos e prazos.

Como aliados na construção civil, a automatização, a digitalização e a integração dos sistemas na construção podem oferecer oportunidades para melhorias não apenas na produtividade, mas também no *design* e na integração de empreendimentos, sugere Geissbauer *et al.* (2015).

De fato, em se tratando de uma indústria com trabalhos majoritariamente manuais, com viés artesanal em muitos de seus processos, a construção civil guarda enorme potencial para ganhos de produtividade com a automatização. Rebolj *et. al.* (2020) concordam com Xu e Duan (2019) em relação ao papel do homem quanto à tomada de decisão estratégica, sendo reduzida a figura do operador de máquinas e havendo incentivo à automatização de processos de construção. Em uma colaboração ideal homem-máquina, trabalhos inseguros ou de difícil realização podem contar com suporte de máquinas, visando a retornos consideráveis em termos de produtividade, desempenho e segurança.

A partir das características elencadas no Quadro 2, amplia-se a discussão para o uso da metodologia BIM, cujo processo de modelagem virtual se alinha aos processos de produção da Indústria 4.0. Esses processos podem ser aplicados de distintas formas na gestão de canteiros e suprimentos. Segundo Zhang *et. al.* (2016), o BIM adiciona um nível de acurácia às quantidades e especificações dos insumos e, conseqüentemente, controle e maior assertividade nas requisições e definições de suprimentos, racionalizando consideravelmente a gestão da cadeia de suprimentos.

Destaca-se que a aplicação da racionalização da construção ocorre principalmente com a redução de variáveis e incertezas, sendo possível aferir antecipadamente a gestão ideal de canteiros e elementos de logística. Quanto aos elementos pré-moldados, há enfoque nas pesquisas em garantir melhor controle dimensional de peças e supervisão

---

1 A 7ª edição do Guia PMBOK descreve dez áreas de conhecimento: Gerenciamento de Integração de projetos; Gerenciamento do Escopo do projeto; Gerenciamento do Cronograma; Gerenciamento de Custos; Gerenciamento da Qualidade; Gerenciamento de Recursos do projeto; Gerenciamento de Comunicações; Gerenciamento de Riscos; Gerenciamento de Aquisições do projeto; e Gestão de Partes Interessadas do projeto.

da montagem dos elementos através de plataformas que permitem interação entre Internet das Coisas e BIM.

Ainda em relação à gestão de canteiros e suprimentos, destaca-se que em uma plataforma 3D é possível definir estratégias de logística com maior capacidade de síntese dos problemas, dada a possibilidade de visualização dos elementos presentes no canteiro. A adição da variável tempo permite a coordenação dos momentos corretos para mobilizações, conduzindo as instalações do canteiro de forma eficiente.

Assim, a adequada modelagem do canteiro em um ambiente BIM pode-se incorporar ao modelo equipamentos como guias, sendo possível ao gestor identificar pontos de acesso e áreas mais adequadas para armazenagem de material, além de compreender os limites de espaço para armazenar certos insumos (HARDIN E MCCOOL, 2015).

Uma vez que se alinham as informações do BIM 3D ao planejamento da obra, tem-se o chamado BIM 4D, que possui potencial de produzir simulações detalhadas da construção, permitindo aos engenheiros de planejamento visualizar, de forma realista, como se desenrolará a obra, considerando o gerenciamento das instalações temporárias de apoio à logística através da visualização dinâmica da evolução do projeto. Portanto, a instalação, a movimentação e a remoção de elementos auxiliares no canteiro, como portões, baias de armazenamento de materiais e outros, podem ser simuladas e, em termos de construções industrializadas com elementos pré-moldados, pode-se recorrer a alto impacto dessa potencialidade. Segundo Whitlock (2021) isso propicia maior controle dos prazos e interações logísticas.

As dimensões do BIM possuem impacto relevante no papel de racionalização da indústria da construção civil, atuando em distintos escopos do ciclo de vida do projeto. O BIM 5D, segundo Sakamori e Scheer (2016), permite um estudo de quantitativos e levantamento de custos eficiente, devendo o projeto conter informações que permitam parâmetros quantificáveis e classificáveis em uma máscara orçamentária.

Enquanto o BIM 5D foca em custos, o BIM 6D, segundo Kadhim e Erzaj (2020), está fortemente associado a critérios de sustentabilidade. Sua relevância crescente está relacionada à maior preocupação com critérios ambientais em um contexto global, considerando aspectos sociais, econômicos e ambientais. O BIM 6D pode afetar diretamente as outras dimensões do BIM, sobretudo por as características de sustentabilidade mudarem ao longo do tempo e causarem impacto em todo o ciclo de projeto.

Para projetistas é possível tirar vantagem da integração e da sustentabilidade em um modelo BIM, permitindo otimizar indicadores como eficiência energética e emissão de carbono. As ferramentas BIM, nesse contexto, permitem identificar as melhores decisões nas etapas iniciais de projeto e testar alternativas de projeto, comparando-as, tendo em vista a integração de elementos de sustentabilidade. Alguns exemplos são a busca pela incorporação de luz natural, ventilação natural ou mecânica, eficiência no consumo de água, entre outros.

O BIM 7D está intrinsecamente relacionado com a manutenção e o gerenciamento do ativo, considerando o ciclo de vida do empreendimento. Quando a gestão de manutenção possui seus processos integrados ao BIM, pode haver significativa redução de custos, melhoria na qualidade da manutenção e, conseqüentemente, na durabilidade e vida útil da estrutura. Segundo Hull e Ewart (2020), a aplicação prática do BIM 7D está relacionada ao uso de modelos e ferramentas que permitam, primeiramente, definir custos e critérios de toda a vida útil da edificação, integrando essas informações e permitindo um adequado processo de gestão de manutenção.

Hull e Ewart (2020), entre outros autores, se referem ao BIM 7D como BIM – ciclo de vida. Este conceito é considerado uma nova perspectiva para as edificações. As informações decorrentes do projeto e das análises do ciclo de vida da edificação, após a conclusão, são repassadas ao proprietário na forma de modelagem de informações de ativos (*Asset Information Modelling – AIM*), que, segundo Soetanto *et. al.* (2021), é tipicamente um modelo de informação de elementos da edificação no qual estão inseridas informações estruturadas, contendo modelos tridimensionais, bidimensionais, fotos, planilhas com informações técnicas de componentes e elementos, além de outros documentos.

Portanto, as potencialidades do BIM derivam dos dados coletados e das informações e conhecimento gerados ao longo de todo o projeto, com a correta designação de parâmetros, permitindo a definição otimizada de um AIM, modelo de informação de elementos da edificação.

Segundo Hull e Ewart (2020), o método padrão para troca de informações do BIM para um formato estruturado que facilita a gestão de manutenção é denominado *Construction Operations and Building Information Exchange* (COBie). O COBie permite uma formatação prática para estruturar esses dados do BIM em um processo parametrizado, permitindo melhor integração do BIM 7D dentro de processos que englobam todo o ciclo de vida da edificação.

O BIM 8D é a dimensão que relaciona princípios BIM aos aspectos de



segurança e prevenção de acidentes. Trata-se da previsão de prováveis riscos durante o processo construtivo e operacional, adicionando componentes de segurança e os indicativos inerentes aos riscos (KAMARDEEN, 2010). Essas informações adicionais aos elementos podem incluir especificação de materiais contribuintes, inclusive texturas de superfície, propriedades térmicas e acústicas, informações sobre desempenho e resistência entre outros.

Com efeito, dificilmente a informação com um nível de detalhamento tal que permita a análise minuciosa dos processos e dos riscos inerentes a cada atividade do projeto seria obtida por plantas bidimensionais. A visualização tridimensional de cada atividade permite compreender melhor as alternativas adotadas e, segundo Eastman *et. al.* (2015), *softwares* como Solibri e Navisworks oferecem visualização e comprovação do cumprimento dos elementos de segurança.

O *Lean*, por sua vez, busca eliminar todas as atividades que não agregam valor, trazendo melhorias significativas em projetos com este enfoque, uma vez que a análise do fluxo de valor também permite aferir os critérios de segurança inerentes a cada etapa de um processo construtivo. A aplicação do BIM pode ser associada à elementos do método *Lean*, por exemplo, por meio de um *design* apropriado do canteiro de obras com o uso de simulações e elementos de gestão de canteiro, processos e rotina.

Os conceitos de BIM e *Lean*, *portanto*, podem ser integrados, permitindo melhoria em capacidade de análise dos riscos envolvidos no processo e na gestão dos processos, eliminando riscos e apresentando um alto potencial sinérgico conjunto na redução de acidentes através do BIM 8D.

As distintas dimensões do BIM apresentam diversas aplicações e potenciais que integram aplicações com capacidade de contribuir para a industrialização mais efetiva e um melhor controle de riscos, custos e processos da construção civil, porém, para que isto ocorra, segundo Shirowzhan *et. al.* (2020), esses conceitos devem ser introduzidos de fato na indústria através de uma mudança nos processos, considerando as variabilidades e o contexto da compatibilidade dessas aplicações.

Importa ressaltar que, muito embora o BIM e os demais conceitos abordados apresentem potencial significativo de gerar melhorias na gestão de processos construtivos, estes benefícios não podem ser observados em um cenário em que predominem trocas de informações inexatas, incompletas ou que não correspondam ao modelo real da edificação.

## Panorama Brasileiro

A capacidade produtiva da Indústria da Construção nacional demanda políticas públicas e ações setoriais abrangentes para incrementar o setor produtivo brasileiro, seu público-alvo principal. Considerando a possibilidade de inserção no cenário internacional, esse incremento é uma condição determinante para alcançar competitividade e níveis confiáveis de qualidade e produtividade. Esses aspectos dependem, sobretudo, do desenvolvimento setorial, da capacitação tecnológica dos agentes envolvidos e dos processos inovadores implementados.

Em termos históricos, houve investimentos públicos relacionados à consolidação de uma infraestrutura industrial nacional entre as décadas de 1930 e 1950, resultando na expansão dos centros urbanos. Nesse momento, os elementos pré-moldados destacou-se como solução técnica para a construção em escala (AZUL, 2018) e o concreto armado, sob influência francesa, foi incorporado à arquitetura moderna brasileira.

O edifício do Ministério da Educação e Saúde no Rio de Janeiro (MESP), construído na década de 1930, e o Complexo da Pampulha, em Belo Horizonte, construído na década de 1940 e inaugurado em 1943, são exemplos das experimentações que destacaram a materialidade da construção industrializada nessa época.

A partir da década de 1950, a construção de galpões e edifícios amplos impulsionou a implementação de processos e sistemas construtivos racionalizados, bem como de elementos pré-moldados. Contudo, os resultados não foram satisfatórios, pois a produção nacional era descontínua, havia excessivo consumo de aço e concreto, além de baixo reaproveitamento de fôrmas e outros insumos.

Durante as décadas de 1960, 1970 e 1980, a construção de empreendimentos habitacionais de baixo custo e com capacidade de atender a parâmetros básicos de qualidade e desempenho representou um fator de influência para a construção industrializada, quando diversos programas habitacionais foram criados.

Destaca-se nesse momento a participação do BNH como agente catalisador do processo de crescimento da construção civil e o sistema industrializado de parede de concreto como método construtivo amplamente utilizado, em especial pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), a partir de 2004 (CARDOSO *et al.*, 2017).

Cabe aqui um destaque para os estudos desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisa e Tecnologia do Estado de São Paulo (IPT) sobre a aplicação de elementos e sistemas construtivos racionalizados, como a alvenaria estrutural em blocos de concreto, painéis cerâmicos e arga-

massados com função de vedação.

Nota-se que, embora a Indústria da Construção tenha sido acelerada por algumas décadas, em função de demandas habitacionais de interesse social, ainda prementes, não houve crescimento tecnológico suficiente para padronizar e qualificar a produtividade dessa cadeia, influenciando a integração das atividades e processos, a rastreabilidade dos produtos e o controle dos desperdícios, além de outros aspectos relacionados à sustentabilidade.

Alguns pontos podem ser destacados para explicar as fragilidades da Indústria da Construção Nacional e o paradigma no qual está inserida:

- Há necessidade de implementar referenciais tecnológicos e de desenvolver os bancos de dados dos referenciais existentes<sup>1</sup> (como Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat - PB-QP-H), mas no âmbito nacional ou macrorregional, como manuais técnicos, programas setoriais para controle de qualidade, documentação técnica não normativa, documentos de boas práticas e outros (CLETO; CARDOSO, 2007; NETTO, 2016);
- A construção civil ainda emprega meios de produção tradicionais em grande escala, com estruturas organizacionais ineficientes que geram retrabalho, fluxo descontínuo de produção e não cumprimento das normas de segurança no trabalho. Além disso, faltam tecnologias de gestão nos empreendimentos, em todo seu ciclo de vida, especialmente na etapa da construção (BLUMENSCHIN, 2015);
- A baixa integração entre os agentes da CPIC atrasa a difusão de tecnologias que já se estabeleceram no cenário internacional como um padrão de inovação, como a metodologia BIM. Há também barreiras em relação à atualização e ao alinhamento das estruturas legais e normativas, na Academia, nos corpos técnicos, na área pública e também nas empresas que participam da IC (AMORIM; KASSEM, 2015; GARCIA et al., 2018);
- É imprescindível que os princípios da sustentabilidade estejam atrelados à busca de tecnologia aplicada aos processos e aos produtos. Nesse sentido, a racionalização dos modos de produção

<sup>1</sup> Netto (2016, p. 22) explica que referenciais tecnológicos são “documentos que estabelecem especificações técnicas e procedimentos que devem ser atendidos pelos diversos agentes envolvidos no processo de produção de uma edificação [...] tais documentos se relacionam também com a especificação de desempenho do produto, consolidação e disseminação do conhecimento acerca dos materiais, elementos e sistemas construtivos empregados [...]”. O autor complementa que essas informações precisam ser validadas pelo meio técnico e podem, ainda, contribuir com o ensino acadêmico.

tradicionalmente empregados, bem como a busca por sistemas industrializados, é um caminho para a difusão de comportamentos e práticas ambientais menos impactantes (BLUMENSCHNEIN, 2015);

- As informações apresentadas em relatórios sobre a construção civil no país contribuem com um panorama, mas analisadas em gráficos, isoladamente, são insuficientes para caracterizações específicas do panorama da industrialização do país.

O relatório sobre o desempenho da Construção Civil no país, apresentado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), apresenta dados sobre o crescente número de novas vagas geradas na Construção Civil após 2018 (Figura 6). Embora a IC tenha um papel fundamental para o desenvolvimento econômico do país, é preciso analisar em profundidade a correlação entre a qualidade de vida e o número de vagas geradas. Faz-se a ressalva que essa informação isoladamente não assegura qualidade de vida, pois outros aspectos devem ser considerados. Essas vagas, por exemplo, podem representar trabalho pouco qualificado e sem a devida proteção contra riscos à saúde e à segurança do trabalhador.

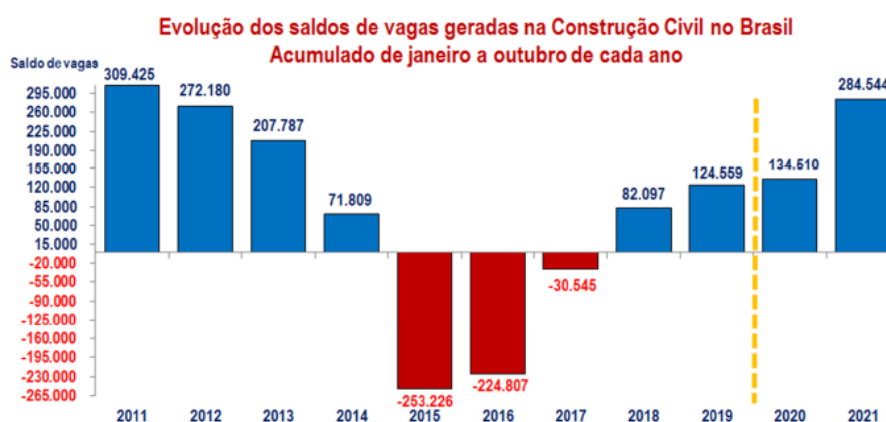


Figura 6 – Vagas geradas na Construção Civil  
Fonte: CBIC (2021) a partir do banco de dados Caged e Novo Caged, Ministério do Trabalho

No que tange o perfil da cadeia produtiva da construção, observa-se que há maior contribuição do segmento da construção no PIB total da cadeia, conforme indica CBIC, tendo como referência os dados da Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção (ABRAMAT) e da Fundação Getúlio Vargas (FGV) (Figura 7).

COMPOSIÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DA CONSTRUÇÃO  
POR PARTICIPAÇÃO (%) NO PIB TOTAL DA CADEIA - 2020

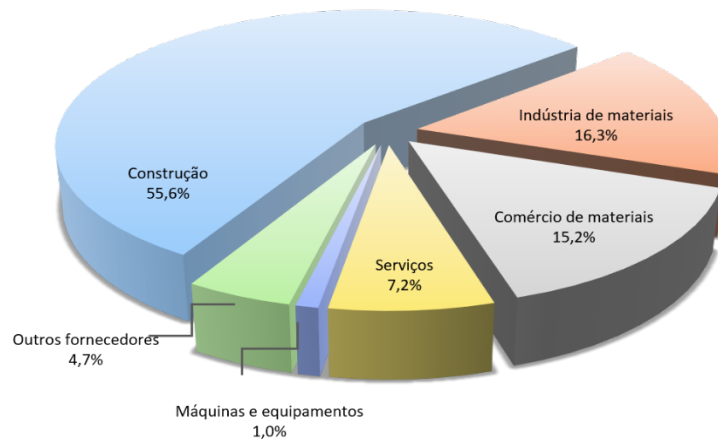


Figura 7 – Perfil da cadeia produtiva da construção, materiais e equipamentos  
Fonte: CBIC (2022)

Quanto à movimentação do mercado imobiliário, a CBIC indica crescimento nos lançamentos de 24,59% em 2021, em relação a 2019, e crescimento nas vendas de imóveis novos de 42,29% em 2021, em relação a 2019, muito embora também apresente queda no estoque de unidades novas disponíveis para comercialização (Figura 8).



Figura 8 – Incremento do mercado imobiliário nacional  
Fonte: Indicadores imobiliários nacionais CBIC (2021)

A CBIC observa que o setor de construção é vulnerável a alterações do contexto externo, tais com as geradas pela desaceleração econômica em razão da pandemia de COVID 19 e, especificamente, pela falta e aumento de preços dos insumos básicos da construção, conforme indica a Figura 9, razão pela qual o estoque de unidades imo-

bilírias foi reduzido. Esse cenário reforça a necessidade de adoção de metodologias racionais nos processos produtivos da indústria civil como estratégia para a redução de custos e de desperdícios, visando contribuir para a estabilidade do setor.



Figura 9 – Aumento dos custos dos materiais e equipamentos  
Fonte: Informativo Econômico da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2021) com dados da Fundação Getúlio Vargas (FGV)

A Indústria da Construção apresenta desafios para articular e, sobretudo, integrar os setores que conformam todos os processos produtivos relacionados à construção, considerando as especificidades de cada uma das cadeias que a compõe. É importante observar que embora os dados apresentados apontem tendência de crescimento econômico, haverá percepção de risco e incerteza nos investimentos, em termos gerais, para a construção civil (CBIC, 2021).

Importante lembrar que as Revoluções Industriais impulsionaram a CPIC com a mecanização da Indústria da Construção, sobretudo com a movimentação de cargas e máquinas e com a mecanização dos transportes; depois com avanços científicos por meio da aplicação em massa da eletricidade, do advento dos motores, dos avanços na comunicação, de novos processos de fabricação do aço e outros eventos; em seguida, avanços tecnológicos como a invenção dos computadores, a automação e a robotização das linhas de produção industriais; para, finalmente, alcançar um cenário *cyber* físico.

Essa síntese de avanços históricos da Indústria da Construção é útil para contextualizar os desafios do atual momento apresentado e ilustrado por meio das figuras 6, 7, 8 e 9, pois nem todas as cadeias produtivas atuam completamente na referida 4ª Revolução Industrial, com processos em um meio *cyber* físico.

Considerando, portanto, a heterogeneidade da CPIC e os processos híbridos de produção das diversas cadeias que a compõe (BLUMENS-CHEIN, 2004), nota-se que os passos indicados pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI, 2022) para alcançar uma produ-

ção compatível com a Indústria 4.0 são também respostas para as principais fragilidades da IC nacional, podendo representar um caminho para atenuar a percepção de risco e incerteza apontada como tendência para a construção civil no próximo ano, pela CBIC.

Em síntese, o Quadro 3 apresenta os referidos passos para a Indústria 4.0 (SENAI, 2022) e, comparativamente, as indicações feitas a partir dessa fundamentação.

Quadro 3 – Passos para a Indústria 4.0

SENAI (2022)	Análise dos passos
“A indústria deverá ter seus processos produtivos mais enxutos”	A adoção de métodos que atendam o ciclo de vida do empreendimento, o uso racional dos recursos envolvidos na produção, sistemas com controle sobre os desperdícios gerados e que considerem a rastreabilidade, o desempenho global do edifício e a gestão de insumos para uma produção mais limpa.
“A indústria deve requalificar trabalhadores e gestores”	Realizar a capacitação dos colaboradores de forma estratégica, considerando a curva de aprendizado e o tempo para aplicação do conhecimento adquirido. Investir no desenvolvimento da comunicação e depois, na introdução de práticas inovadoras e ágeis nas empresas.
“A inserção na indústria 4.0 iniciará por meio de tecnologias já disponíveis e de baixo custo”	Implementação de processos produtivos híbridos com gestão eficiente e depois, inserção de tecnologias existentes de baixo custo, como sensores, computação em nuvem e <i>big data</i> , realizando manutenções preventivas.  Com isso, identificam-se metas para aderir a novas tecnologias e, eventualmente, aplicações de inteligência artificial, para antever problemas como quebra de equipamentos e planejar manutenções preditivas.
“A indústria investirá em pesquisa, desenvolvimento e inovação”	Investimento em pesquisa e inovação e na comunicação / contribuição da Cadeia Auxiliar para a Principal.

Fonte: SENAI (2022)





## **CAPÍTULO 02**

**SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS APLICADOS À  
EDIFICAÇÃO PENAL**

A evolução do sistema jurídico-penal condicionou decisões sobre o projeto de edificações penais, ambientes cada vez mais especializados para assegurar a pena privativa de liberdade, que consistia no encarceramento do indivíduo, por um determinado período.

Os espaços que representaram uma forma de evitar e prevenir novos delitos e promover a ressocialização consolidaram a aplicação de determinados sistemas construtivos, soluções tecnológicas, materiais de acabamento e mobiliários específicos para os sistemas punitivos, considerando os aspectos econômicos, a disponibilidade de recursos e as especificidades da CPIC do país. Esses espaços, constituintes dos tradicionais modelos penitenciários, deveriam ser projetados a partir de premissas fundamentais para a aplicação da ciência penitenciária: segurança e isolamento em diversos níveis, salubridade e qualificação laboral dos detentos.

Nesse cenário, a busca pela relação do melhor custo-benefício de sistema construtivo para a edificação penal no Brasil destaca dois modelos prisionais baseados em materiais pré-fabricados e pré-moldados, em contraposição aos tradicionais modelos do país. O primeiro modelo seguiu, de forma geral, o padrão das *supermax* norte-americanas, configurando os espaços a partir de padrões e módulos gerados por elementos pré-moldados em concreto armado. O segundo modelo apresenta uma tipologia baseada no monobloco composto de placas pré-fabricadas de alto desempenho com concretagem realizada em painéis e posterior montagem dos ambientes. Ambos os sistemas, industrializados, serão apresentados a seguir.

### **Sistema Supermax Norte-Americano e Sistema Monobloco Pré-Fabricado**

O sistema baseado nas *supermax* norte-americanas é majoritariamente composto de elementos pré-moldados, usando uma arquitetura modular. As peças pré-fabricadas são trazidas ao canteiro de obras aptas para a execução. Nesse sistema o controle da população carcerária acontece por meio de estações elevadas (Figura 10), localizadas na intersecção dos módulos implantados. A circulação da vigilância é feita por meio de passarelas externas (TENÓRIO; LIMA, 2018).



Figura 10 – Projeto baseado nas supermax norte-americanas  
Fonte: DM CONSTRUTORA (2011)

As paredes das celas são delimitadas por fôrmas do tipo caixa dupla (Figura 11), uma estrutura monolítica com paredes de 15cm de espessura e lajes de piso com 50 cm de espessura para evitar fugas por escavações. Os pórticos que compõem a estrutura são pré-moldados e a vedação é feita com blocos, geralmente padrão, de 19x39 cm.

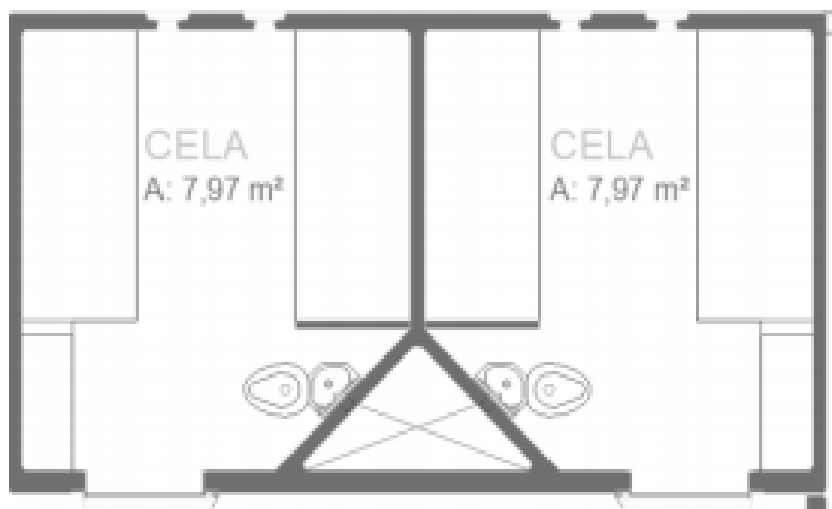


Figura 11 – Projeto arquitetônico do sistema baseado nas supermax norte-americanas  
Fonte: DM CONSTRUTORA (2011)

O sistema baseado nas *supermax* norte-americanas, representando a arquitetura essencialmente modular, facilita a produção e montagem dos seus elementos pré-moldados, embora também dificulte a adoção de *layouts* arquitetônicos diversificados. Observa-se que há uma sensível redução de até 1/3 nos prazos de execução observados com a implantação desse tipo de sistema (TENÓRIO; LIMA, 2018).

A aplicação conjunta de soluções e estratégias de pré-moldagem ou pré-fabricação, racionalização, mecanização e automação reforçam o potencial uso da industrialização da construção. Especialmente na redução de custos globais das edificações penais, citando por exemplo, o uso de componentes para a abertura automática de celas.

Um aspecto crítico apontado por Tenório e Lima (2018) diz respeito às inadequações do sistema *supermax* norte-americano quando adaptado para a realidade brasileira, citando como principal defasagem a ausência de ventilação nas celas, sendo prioritário associar parâmetros de desempenho térmico, lumínico e critérios de conforto nacionais.

O sistema baseado no monobloco composto de placas pré-fabricadas de alto desempenho (Figura 12) tem concretagem individualizada das placas, necessário apenas finalizar os interiores. Esse sistema, tipicamente brasileiro, comumente denominado poste telegráfico pelo seu aspecto formal, possui cerca de cem unidades construídas no país. São exemplos desse modelo as penitenciárias de segurança máxima de Catanduva/PR, inaugurada em 2006, de Campo Grande/MS, inaugurada em 2006; Porto Velho/RO, inaugurada em 2008; Mossoró/RN, inaugurada em 2009; e Brasília/DF, inaugurada em 2014.



Figura 12 – Projeto arquitetônico baseado no sistema monobloco  
Fonte: VSISBRASIL (2014)

A Figura 13 mostra um esquema geral da configuração espacial das penitenciárias de segurança máxima brasileiras que seguiram esse padrão, adaptando-se, em diversos níveis aos sistemas industrializados.

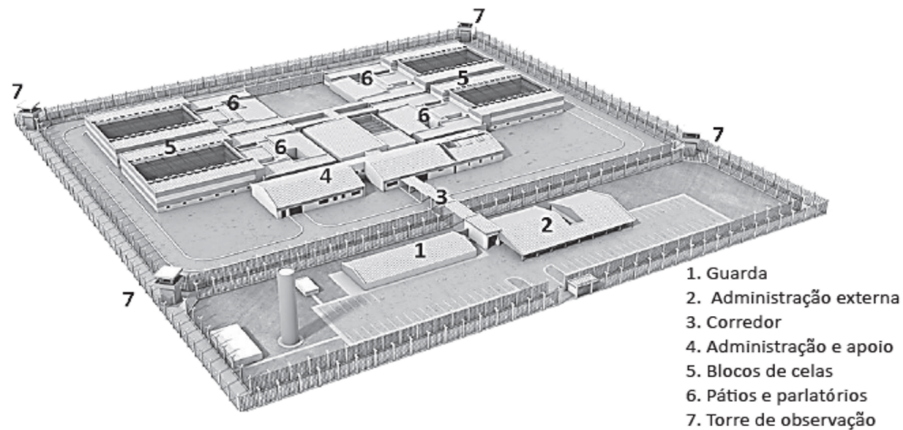


Figura 13 – Esquema das penitenciárias federais de segurança máxima  
Fonte: Teoria e Prática da Arquitetura Penal - evolução dos sistemas jurídico-penal e Penitenciário brasileiros (2020)

Não há, usualmente a aplicação do aço no interior desses monoblocos, incorporadas fibras de polipropileno e de vidro resistente a álcalis. O *layout* comum da estrutura possui peculiaridades como passarelas entre blocos de celas por onde se estruturam os elementos construtivos de instalações prediais. A durabilidade do sistema, segundo Tenório e Lima (2014), é quatro vezes maior em relação a sistemas construtivos tradicionais e, além disso, necessita de uma frequência menor de manutenção, reformas e recuperações de construção.

Sejam adaptações do padrão *supermax* norte-americano ou do padrão monobloco de placas pré-fabricadas, é possível identificar obras penitenciárias que seguem as especificações de projetos com sistemas industrializados. A Figura 14 mostra a moldagem *in loco* de paredes de concreto no Presídio Colméia e as figuras 15 e 16, o mesmo processo construtivo, no Presídio Feminino do Gama, ambos em Brasília.



Figura 14 – Paredes de concreto moldado in loco do Presídio Colméia de Brasília





Figura 15 – Paredes de concreto moldado in loco do Presídio Feminino do Gama  
Fonte: Acervo da Empresa COMBRASEN – Companhia Brasileira de Soluções de Engenharia



Figura 16 – Paredes de concreto moldado in loco do Presídio Feminino do Gama  
Fonte: Acervo da Empresa COMBRASEN – Companhia Brasileira de Soluções de Engenharia

É importante ressaltar que há casos sem ampla aplicação de estratégias compatíveis com os sistemas industrializados, utilizando, eventualmente, partes de sistemas pré-moldados e moldados *in loco*, sem coordenação modular para toda a edificação penal. Por exemplo, as penitenciárias de Guaíba/RS e Caxias do Sul/RS, licitadas no segundo semestre de 2021, apresentam características híbridas (sistemas convencionais e industrializados).

A Penitenciária Estadual de Guaíba, no Rio Grande do Sul, localizada na Rodovia Federal BR 116, apresenta como programa um pátio de entrada, um módulo de revista e identificação, um módulo administrativo, abrigo de viaturas, um módulo de saúde, blocos de encarceramento e módulos de vivência, sendo o sistema construtivo em paredes

de concreto moldadas *in loco*, não sendo observado no projeto um planejamento de construção modular (Figura 17).

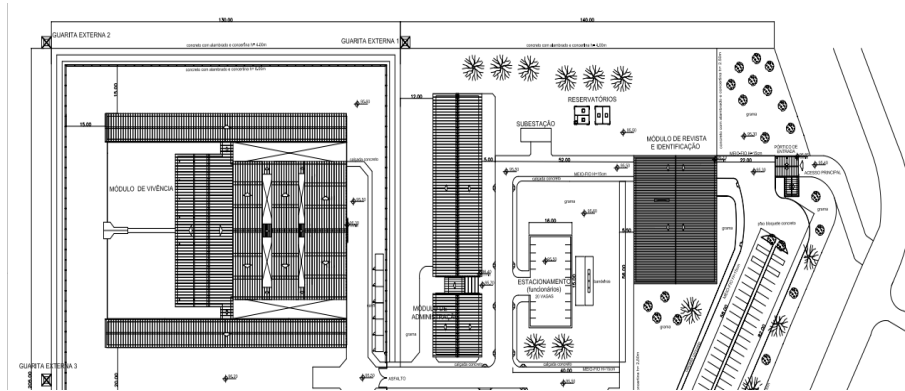


Figura 17 – Projeto de Implantação do Presídio Estadual de Guaíba (2021)  
Fonte: CELIC – Subsecretaria de Licitações do Rio Grande do Sul

Construção similar pode ser observada no projeto do Presídio de Caxias do Sul, no Rio Grande do Sul, onde o sistema é dividido em módulos, porém são construções usuais executadas em paredes de concreto moldadas *in loco* (Figura 18).



Figura 18 – Projeto de Implantação da Penitenciária Masculina de Caxias do Sul  
Fonte: CELIC – Subsecretaria de Licitações do Rio Grande do Sul (2021)

Um aspecto diferente é observado no projeto do Complexo Penitenciário de Maceió, cujo conceito de arquitetura modular é apresentado por meio de monoblocos e montagem de peças pré-moldadas dos módulos de vivência penal, garantindo mais adequada industrialização, potencializando os benefícios relativos à aplicação da construção enxuta e às especificações arquitetônicas requeridas pelo sistema (Figura 19).



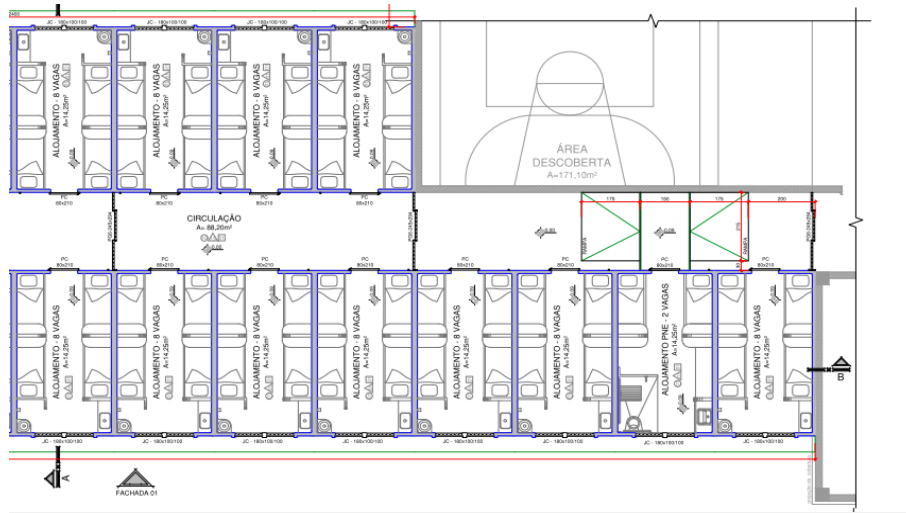


Figura 19 – Projeto de implantação da Penitenciária de Maceió

Fonte: Secretaria de Infraestrutura de Maceió (2021)

## Benefícios dos Sistemas Industrializados para a Edificação Penal

Os exemplos apresentados mostram o potencial da aplicação da industrialização da construção baseada na modulação e na produção fabril de componentes e elementos. Infere-se a partir da análise sobre tais referências e, considerando uma aplicação integrada desses sistemas, na perspectiva do ciclo de vida da edificação penal, que os sistemas industrializados podem contribuir e influenciar outras diretrizes e conceitos que norteiam o projeto arquitetônico penal, dentre os quais citam-se:

- A sustentabilidade da edificação nas etapas de projeto, construção e operação do empreendimento, por meio da utilização de critérios pré-definidos, considerando viabilidade técnica e econômica;
- A flexibilidade espacial por meio da modulação ou da coordenação modular para alcançar a versatilidade exigida pela natureza referencial do projeto arquitetônico;
- O alinhamento necessário entre a arquitetura e o tipo de estabelecimento penal definido para o edifício projetado;
- A racionalidade espacial materializada na geometria e na funcionalidade das edificações, além da compactação das construções;
- A composição e o dimensionamento, além do planejamento de instalações demandadas e acabamentos específicos;
- A celeridade para a obra com provável redução do prazo de execução.

Destaca-se ainda que a construção industrializada pode representar propostas arquitetônicas que facilitem a padronização e especificação de soluções tecnológicas disponíveis; promovam a replicabilidade das soluções espaciais, inclusive considerando construções parciais de edificações com a exclusão, replicação ou inclusão de edifícios; facilitem o planejamento, execução, manutenção, conservação e eventual substituição de instalações prediais, em especial a automação de componentes.

Ante tais possibilidades, é importante discutir os avanços históricos e tecnológicos na industrialização no País que impulsionaram as experiências atuais de uso dos sistemas industrializados, da implementação da fabricação digital para a produção de componentes e sistemas e da modelagem paramétrica com o uso de *softwares*.

A evolução do conhecimento das técnicas construtivas industrializadas mostra a importância do alinhamento entre o uso dos sistemas industrializados, os aspectos de coordenação modular e a racionalização da construção. Na prática, a aplicabilidade desses fatores não foi conjunta, registrando-se construções com elementos pré-fabricados e pré-moldados nas décadas de 1920 a 1940 (Figura 20 e Figura 21) e aplicações da racionalização construtiva somente a partir da década de 1950, com a construção de uma série de galpões pré-moldados em um canteiro de obras em São Paulo, executados pela construtora Mauá (Figura 22-A; Figura 22-B; Figura 22-C).



Figura 20a, 20b e 20c – Obra do Hipódromo da Gávea, Rio de Janeiro, 1926. Utilizou elementos pré-moldados nas fundações e nos cercamentos

Fonte: <https://www.sergiocastro.com.br/historias-do-rio/historia-da-central-do-brasil-2/87160>

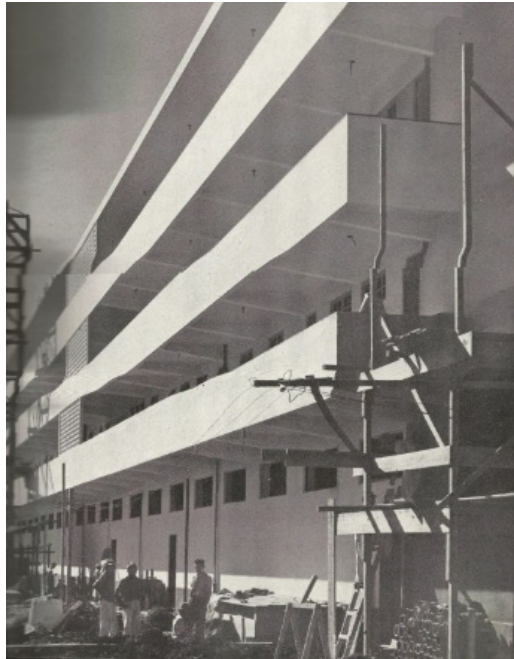


Figura 21 - Residencial Operário em Realengo, Rio de Janeiro, 1943. Pré-moldados com variedade tipológica e técnica construtiva  
Fonte: Goodwin (1943)

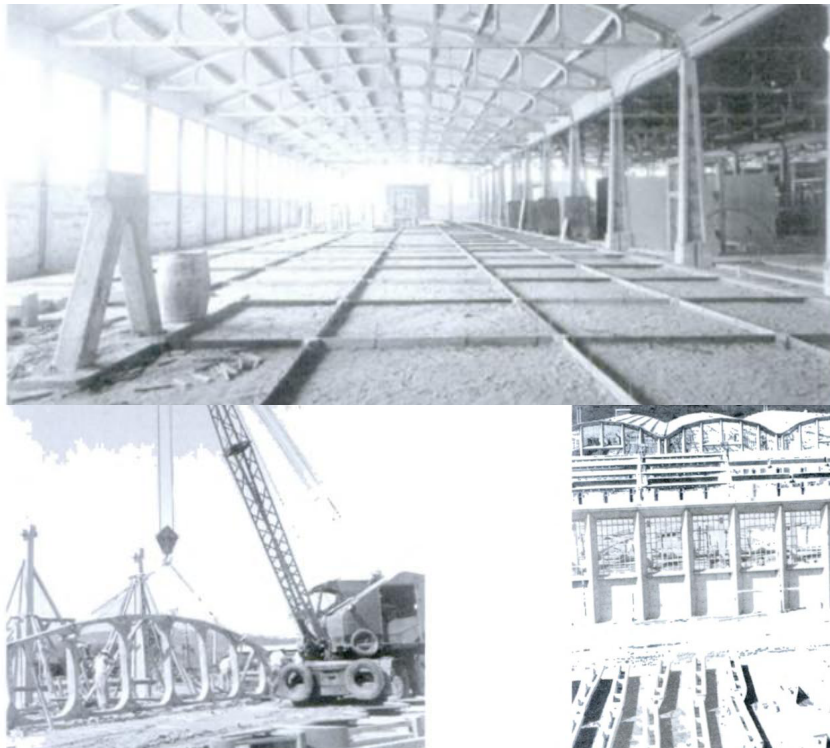


Figura 22a – Vista longitudinal pavilhão Curtume Franco-Brasileiro, São Paulo, 1950. Tesouras em viga Vierendeel curva e terças perfuradas.

Figura 22b – Montagem tesoura Vierendeel Curtume Franco-Brasileiro, São Paulo, 1950. Tesoura Vierendeel içada por grua.

Figura 22c – Vista externa Curtume Franco-Brasileiro, São Paulo, 1950. Estocagem de pilares em V pré-fabricados

Fonte: Vasconcelos (2002)

Além dessas construções, outras importantes contribuições aconteceram nessas décadas, inclusive oriundas da influência brutalista paulista, entretanto, a construção de Brasília representou o principal impulsionador da arquitetura industrializada no País, considerando que grande parte da indústria do concreto e da experiência de pré-fabricação e pré-moldagem do Brasil aconteceu nos seus canteiros de obra.

Nesse cenário destacaram-se as experiências de João Filgueiras Lima, Lelé, empregando o concreto como insumo principal, na execução de sistemas construtivos leves em argamassa armada. Ressalta-se que mesmo atrelado a processos de produção menos tecnológicos, esse sistema construtivo representou a busca da construção em escala, da pré-moldagem e da seriação, além da consolidação do saber técnico científico.

A aplicação em larga escala do sistema construtivo pré-fabricado e pré-moldado, seja nas primeiras experiências na Universidade de Brasília, seja nas estruturas metálicas e torres dos edifícios públicos da capital, como os Ministérios, o Congresso Nacional e a Rodoviária central, foi também uma resposta para a ousadia formal e cumprimento do prazo de entrega das obras.

Importante lembrar que nesse período ainda não havia a qualificação técnica necessária para o controle dos insumos, como a madeira, por exemplo, utilizada nas fôrmas dos elementos moldados, em escoras e em instalações provisórias, amplamente desperdiçada, denotando processos ainda incipientes de racionalização da indústria da construção. Há também críticas acerca do despreparo da mão de obra disponível para as construções, do desperdício de outros insumos de obra e do superdimensionamento estrutural das edificações públicas e edifícios de habitação (BRUNA, 1976).

Cabe aqui uma reflexão sobre as dificuldades de alinhamento dos processos produtivos que compõe a CPIC no país, problemática central que constitui um paradigma do segmento da construção. Nota-se a falta de alinhamento entre agentes, ações e instrumentos para uma aderência tecnológica efetiva, para o uso da industrialização e da padronização na construção civil, bem como para o avanço da qualificação da mão de obra.

A conjuntura apresentada mostra que as dificuldades enfrentadas não são apenas fruto do uso de sistemas construtivos e mão de obra tradicionais e convencionais, considerando-se que esse método de trabalho ainda se apresenta viável e particularmente acessível em algumas situações, podendo, inclusive, compor um sistema híbrido industriali-

zado.

É fato que as obras de Oscar Niemeyer e Lelé protagonizaram a industrialização da construção e a UnB tornou-se um centro de experiências para a arquitetura pré-fabricada e pré-moldada, destacando-se o Instituto Central de Ciências – ICC (Figura 23; Figura 24a; Figura 24b; Figura 24c) e o Centro de Planejamento – CEPLAN, construído a partir de duas peças pré-fabricadas, placa de vedação e a viga protendida<sup>1</sup>.



Figura 23 – Vista ICC sul  
Fonte: Acrópole, 1970

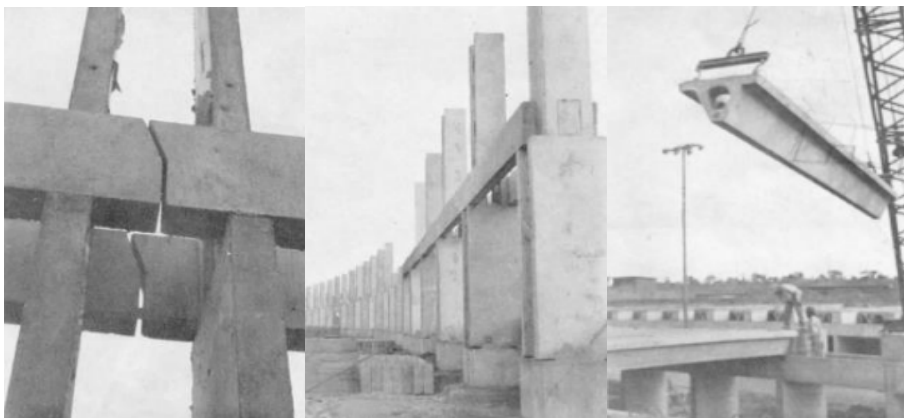


Figura 24a – Vigamento duplo  
Fonte: Acrópole, 1970

Figura 24b – Pilares de alma oca  
Fonte: Acrópole, 1970

Figura 24c – Içamento de vigas-calha  
Fonte: Acrópole, 1970

Outras edificações foram executadas, com essa mesma lógica construtiva, em sucessivas experimentações de elementos pré-fabricados e pré-moldados, incluindo protótipos de habitações empilháveis em concreto armado, os edifícios residenciais pré-fabricados da Colina, os Galpões de Serviços Gerais e edifícios genéricos para suprir demandas de funções sociais que surgiam. Dentro e fora dos limites da Universidade, a construção industrializada era aplicada em tipologias institucionais, comerciais e residenciais. A argamassa armada, as fachadas estruturais solidarizadas com concretagem *in loco* (Figura 25), carenagens pré-fabricadas acopladas à fachada (Figura 26), peças es-

<sup>1</sup> Esta mesma configuração construtiva foi replicada no Instituto de Artes, no Departamento de Música e o Auditório da Universidade de Brasília.



truturais desenhadas, como vigas-calhas, conjuntos viga-pilar e *sheds* pré-moldados formalizaram a arquitetura industrializada modernista. Nesse cenário, obras como a rede de Hospitais Sarah Kubitscheck e as Escolas Transitórias de Lelé se tornaram notórios exemplos dos avanços técnicos e construtivos influenciados pela Bauhaus, trazendo à tona a tentativa de associar a criação arquitetônica industrializada e o *design*, a industrialização em massa com possibilidades de customização à confecção exclusiva de componentes e de acabamentos, por vezes, artesanais.



Figura 25 – Hospital Regional de Taguatinga / João Filgueiras Lima (Lelé)  
Fonte: ArchDaily



Figura 26 – Anexo dos Ministérios, Niemeyer. Fachada composta de peças pré-fabricadas acopladas a uma estrutura moldada in loco  
Fonte: [www.niemeyer.org.br](http://www.niemeyer.org.br)

Oscar Niemeyer também utilizou técnicas de pré-fabricação para construções públicas e privadas dignas de destaque e com sinais da sensibilidade plástica Brutalista. O Palácio do Exército, também composto apenas por dois elementos pré-fabricados, faz parte dessa configuração formal com expressão plástica decorrente dos próprios elementos construtivos, do rigor da modulação e, diferentemente da lógica construtiva de Lelé, pela ausência de acabamentos.

No que tange a evolução dos sistemas industrializados, a obra “A arquitetura do Lelé: fábrica e invenção”<sup>1</sup> ressalta as distâncias geográficas, o transporte dos sistemas em argamassa armada e a manutibilidade desse sistema pós-obra como limitantes para uma ampla aplicação no país, dando espaço para o uso misto das estruturas metálicas com peças complementares em argamassa armada.

<sup>1</sup> RISSELADA, Max. LATORRACA, Giancarlo (Org.). *A arquitetura do Lelé: fábrica e invenção*. São Paulo: Imprensa Oficial do estado de São Paulo: Museu da Casa Brasileira, 2010.

Além disso, esta mesma obra relata um lastro considerável de construções realizadas entre as décadas de 1960 e 1980, influenciadas pelas experimentações em Brasília e oriundas da ressonância arquitetônica da Bauhaus com a aplicação de sistemas industrializados. Em síntese, é importante perceber que a pré-fabricação e a pré-moldagem atendiam duas funções principais: uma, com foco nos aspectos comerciais, no controle de qualidade, de prazos e do resultado financeiro da obra; e outra, com foco nos aspectos sociais e ideológicos, como proposições éticas do arquiteto para a sociedade.

É justamente nesse ponto que é preciso retornar à tipologia central estudada nesse livro – **a edificação penal** – e estabelecer uma relação com a aplicação dos sistemas industrializados disponíveis e viáveis, baseados nos tipos **supermax norte-americano** e no **monobloco pré-fabricado**, demandados para atender ambas as funções supracitadas, a comercial e a social, os aspectos econômico-financeiros e éticos.

Dos benefícios discutidos no âmbito do projeto arquitetônico penal com sistemas industrializados, são questões atuais os níveis aceitáveis e seguros de customização para os espaços penitenciários, tanto do ponto de vista formal, com variações na sua complexidade geométrica, quanto do ponto de vista de acoplamentos de sistemas de instalações, acabamentos e revestimentos. A possibilidade de associar um *design* arquitetônico complexo à produção industrializada é uma questão historicamente discutida e, nesse sentido, a modelagem paramétrica é uma ferramenta importante no processo criativo.

Por isso, a criação de modelos referenciais é uma possibilidade que permite agregar novas tecnologias aos métodos projetuais existentes para a criação e construção de diferentes modelos, podendo resultar em adaptações rápidas, sem recomençar o processo de criação do zero. Além disso, essa estratégia implica soluções construtivas céleres que lidam com os arquétipos típicos da composição arquitetônica da prisão: a barreira perimetral, a cela, o pátio de sol e o posto de controle. Tais elementos centrais são permeados pela circulação de pessoas, veículos e materiais, conectando todo o conjunto.

Exemplo disso é o projeto de referência desenvolvido pelo PISAC, produto dos estudos e pesquisa em Arquitetura Penal junto ao DEPEN/MJSP, que mostra modelos referenciais de edificação penal, como protótipos, com especificação de paredes de concreto pré-fabricadas, análogas ao modelo das *supermax* americanas.

Esses modelos adotaram o sistema construtivo industrializado e modular com especificidades para o uso do concreto armado de alta resistência. Há compatibilização do sistema com os elementos embutidos no concreto e passagens previstas para as instalações requere-



ridas. Esses aspectos, além da configuração espacial resultante nos projetos, mostraram-se compatíveis com os conceitos arquitetônicos de simplicidade espacial e funcional, modulação arquitetônica, flexibilidade espacial, racionalidade espacial e a compactação arquitetônica, aspectos programáticos, efetividade operacional, possibilidade de humanização e customização do espaço, industrialização e a sustentabilidade.

Os modelos referenciais construídos durante o projeto, considerando-se as diversas restrições para os tipos de edificações penais, confirmam haver possibilidade de obter variabilidade e customização com sistemas industrializados<sup>1</sup>, embora esses resultados estejam mais ligados às oportunidades programáticas e investimentos institucionais pontuais e não às políticas públicas amplas para modelagem de projetos com essa intenção para o aceleração tecnológico da Indústria da Construção.

Em termos práticos, foi possível desenvolver projetos arquitetônicos versáteis, por se tratar de um projeto de referência nacional, agrupando-se os tipos penais com elementos programáticos comuns. Isso foi possível com a caracterização de cada tipo projetado, com padrão arquitetônico modular e estrutura central de circulação que conecta todos os módulos<sup>2</sup>, predominantemente térreo, com as particularidades espaciais do edifício definidas em função do nível de segurança requerido e do modelo prisional. Desse modo, embora a arquitetura penal seja complexa, os projetos regionais podem fazer as seguintes adequações:

- Na implantação do estabelecimento penal, associadas ao acesso e planimetria, pois o projeto arquitetônico referencial considera um terreno hipotético ideal;
- Nas instalações, vinculadas às ligações, destinação de resíduos e definição do sistema de detecção e combate a incêndio;
- Nas aberturas de iluminação e ventilação com o redimensionamento e/ou proteção das aberturas, devido às particularidades climáticas de cada região;
- Em eventuais readequações programáticas de projeto arquitetô-

1 *As próprias especificidades dos sistemas industrializados solicitam os tipos de customização e as variações necessárias para o acoplamento de instalações complementares, acabamentos e dispositivos acessórios.*

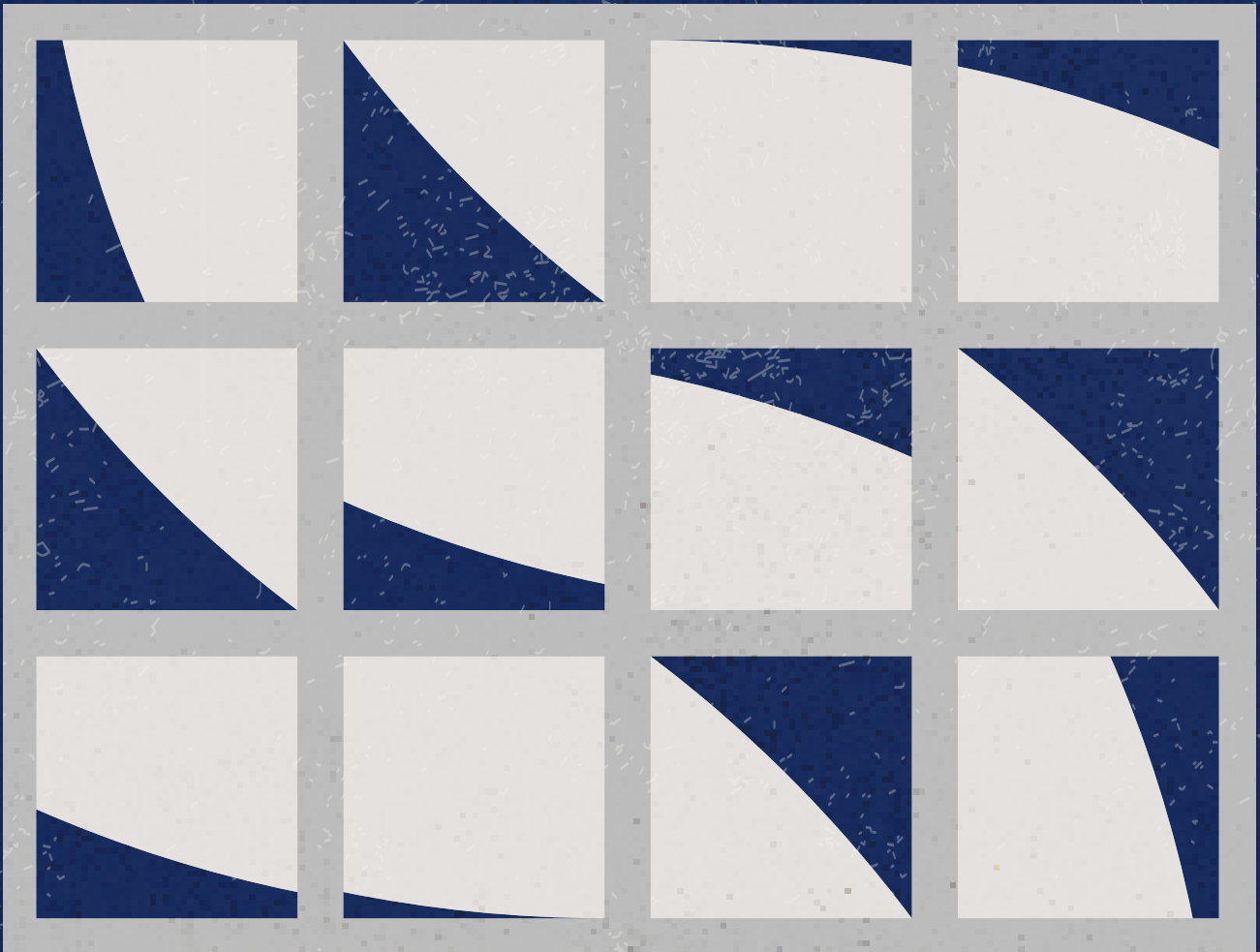
2 *Os padrões arquitetônicos dos modelos referenciais apresentam na definição das propostas arquitetônica o conceito modular que define as atividades em blocos funcionalmente especializados, arranjados de acordo com os conceitos da 'vigilância direta', sendo implementados postos de controle.*

co realizadas pelas Unidades Federativas, caso sejam verificados ambientes incompatíveis com a economicidade da obra, mediante a possibilidade de aproveitamento de outros espaços, ambientes incompatíveis com a segurança e a operação do estabelecimento penal, seja por configurarem risco, tendência de desuso ou sobrecarga operacional;

- Da proposta arquitetônica para a mulher presa, com a inclusão da saúde especializada e da creche, segundo as diretrizes legais e normativas.

Extrapolando a questão da tipologia penal, restritiva em relação a critérios técnicos, considera-se que o desenvolvimento de modelos referenciais é replicável, especialmente porque o foco está no tipo de sistema construtivo industrializado, indicando as experimentações possíveis que tipologias semelhantes pode ter.

Em ampla escala, há uma tendência de que o país siga com a aplicação crescente de sistemas industrializados pré-moldados e pré-fabricados impulsionados pelas normatizações e necessidades de avançar em processos produtivos mais eficientes, com maior controle de custos e, sobretudo, com impactos ambientais controlados, seguindo, a princípio, uma lógica construtiva flexível e customizada e evoluindo, futuramente, para soluções estruturais e arquitetônicas refinadas e inventivas.



## **CAPÍTULO 03**

### **REQUISITOS PARA PROJETO DE SISTEMA DE PAREDES EM CONCRETO**

De modo geral, as obras penitenciárias nacionais seguem as especificações de projetos conforme o padrão do sistema *supermax* norte-americano, com variações de configuração de implantação pavilhonar e poste telegráfico<sup>1</sup>. O sistema construtivo de paredes em concreto pré-moldado ou moldado *in loco* protagoniza o sistema industrializado misto brasileiro e, por esse motivo, é a referência técnica para o levantamento dos requisitos principais para projeto e execução nesse capítulo.

### Levantamento de Requisitos

A pré-moldagem de paredes de concreto e sua utilização na construção civil envolvem uma metodologia de trabalho passível de gestão e implicam processos industriais com potencial de redução da variabilidade do sistema construtivo, tendo impacto na logística, especialmente no planejamento e no transporte, e na redução de resíduos do canteiro de obras.

A industrialização da construção tem conhecidas potencialidades relacionadas à capacidade de um sistema construtivo consumir menos recursos, sejam materiais ou horas de trabalho e alcançar maior durabilidade e variabilidade que os sistemas tradicionais. Considerando o cenário da Indústria da Construção no país e, especificamente, a cadeia produtiva no segmento da edificação penal, é preciso considerar alguns aspectos para alcançar um desempenho satisfatório:

- Identificação do ciclo de vida da edificação a ser construída;
- Identificação das especificações de uso do ambiente construído;
- Identificação das especificações técnicas do sistema;
- Utilização do Building Information Modelling como requisito de projeto;
- Identificação dos potenciais de automação dos processos de construção do sistema.
- Cumprimento dos requisitos de qualidade do sistema construtivo;

<sup>1</sup> O livro *“Teoria e Prática da Arquitetura Penal: as origens do sistema jurídico-penal e a evolução dos espaços prisionais”* (Blumenschein, 2021, p.92) explica que a configuração de poste telegráfico constitui uma referência para as prisões de segurança máxima do século XXI, inclusive nacionais, seguindo o princípio de segurança individualizada por bloco. O livro explica, ainda, que a tipologia “[...] é formado por duas filas de blocos retangulares, dispostos paralelamente entre si e ligados a um corredor central, perpendicular, que dá acesso ao edifício administrativo. Cada um desses blocos tem uma função específica: reclusão, atividades educativas, refeitório, etc.”

## Identificação do Ciclo de Vida da Edificação

Importa para esse estudo a identificação das etapas do ciclo de vida<sup>1</sup> da edificação penal e o entendimento de que sistemas construtivos industrializados podem minimizar os impactos ambientais da construção no canteiro de obras e os consumos exagerados de recursos, promovendo a reciclagem e o reuso de materiais de construção, fomentando a gestão de resíduos gerados pela construção e antevendo a possibilidade de requalificação do sistema construtivo e sua posterior demolição.

A percepção desse ciclo de vida torna esse estudo um requisito não apenas de desempenho, mas de sustentabilidade. Ressalta-se que o BIM pode auxiliar a configuração desses cenários por meio das simulações em plataforma digital integrada com componentes visuais e riqueza de informações que permitam a previsão do desempenho de materiais e produtos ao longo do ciclo de vida da edificação penal.

Em síntese, o Quadro 4 mostra as etapas do ciclo de vida da edificação penal relacionadas ao projeto de paredes de concreto pré-moldadas:

Quadro 4 – Etapas do ciclo de vida

Etapas do ciclo de vida da edificação penal	Etapas do projeto de paredes de concreto pré-moldadas
Planejamento do projeto arquitetônico	Levantamento de dados e planejamento inicial de paredes de concreto moldadas in loco para Edificação Penal
Desenvolvimento do projeto de paredes de concreto moldadas in loco para Edificação Penal	Desenvolvimento do projeto preliminar, anteprojeto e projeto executivo de paredes de concreto moldadas in loco para Edificação Penal
Execução do projeto de paredes de concreto moldadas in loco para Edificação Penal	Execução de paredes de concreto moldadas in loco para Edificação Penal
Uso e manutenção	Uso e manutenção de paredes de concreto moldadas in loco para Edificação Penal

<sup>1</sup> *É importante esclarecer que o conceito de ciclo de vida vem respaldado pela caracterização da análise do ciclo de vida das edificações, uma ferramenta que objetiva sistematicamente avaliar o desempenho ambiental de um processo ou produto ao longo de todo seu ciclo de vida, desde a extração da matéria prima para sua fabricação até o descarte. A aplicação desta técnica consiste em minimizar os impactos ambientais e os consumos desenfreados de recursos, promovendo a reciclagem e o reuso de materiais de construção, o que torna esse estudo um requisito não apenas de desempenho, mas de sustentabilidade. Para esse estudo, um recorte foi feito e será aplicada apenas a identificação de etapas do ciclo para fins de estruturação do scorecard.*

Etapas do ciclo de vida da edificação penal	Etapas do projeto de paredes de concreto pré-moldadas
Requalificação	Requalificação de paredes de concreto moldadas in loco para Edificação Penal
Demolição	Demolição de paredes de concreto moldadas in loco para Edificação Penal

Indica-se especial atenção às etapas de Requalificação e de Demolição. Na perspectiva do ciclo de vida, a etapa de Requalificação das paredes de concreto inclui o planejamento da requalificação, um plano de desconstrução com rastreabilidade dos materiais e projetos de atualização de fachadas, estruturas e revestimentos, inclusive com o ajuste das instalações elétricas e hidráulicas, de componentes automatizados e de esquadrias.

Em relação à etapa de Demolição, é preciso uma gestão integrada da demolição, construindo um Plano de demolição com o levantamento e conferência *as built* para o desenvolvimento do referido Plano e, além disso, indica-se a construção de um Plano de reuso, reciclagem e descarte final contendo especificações para a equipe que executará a demolição, especificações para o gerenciamento dos resíduos e a observação das prescrições normativas compatíveis com o processo.

Levando esses aspectos em consideração, os seguintes requisitos vinculados ao ciclo de vida da edificação a ser construída devem ser considerados para auxiliar a gestão desse sistema construtivo, associando aspectos técnicos e normativos para a correta execução de paredes pré-moldadas e moldadas *in loco*:

- As etapas compatíveis com a tipologia construída;
- As especificações compatíveis com cada etapa para os agentes, ações e instrumentos alinhados;
- A gestão integrada das etapas.

### **Especificações de Uso do Ambiente Construído**

As especificações de uso do ambiente construído são aquelas especificações que caracterizarão o tipo de edificação penal construída. Nesse contexto importam aspectos do tipo, aspectos programáticos e de configuração espacial que irão condicionar a modularidade, a necessidade de função estrutural ou não e a quantidade de pavimentos. Isso é relevante para o atendimento de requisitos de segurança, para o estabelecimento de especificações técnicas de fabricação de peças e planejamento do dimensionamento de paredes e outras infor-

mações.

Listam-se os seguintes requisitos vinculados ao uso do espaço poderiam auxiliar na gestão desse sistema construtivo, associando aspectos técnicos e normativos para a correta execução de paredes pré-moldadas e moldadas *in loco*:

- Definição do número de pavimentos tipo da edificação penitenciária;
- Identificação dos painéis pré-moldados com ou sem função estrutural;
- Definição da modularidade ou do módulo a ser utilizado;
- Definição do nível de segurança requerido.

### **Especificações Técnicas do Sistema**

A construção da parede de concreto pré-moldada deve possuir um enfoque integrado de produção visando-se reduzir suas variabilidades. Nesse sentido, as informações técnicas ligadas à produção do cimento, à produção das armaduras, à inspeção das dimensões dos elementos pré-moldados, ao transporte do concreto até a fôrma e às demais operações de processamento dos insumos requerem atenção especial.

A produção do concreto inclui especificações dos componentes individuais de cada mistura e informações pertinentes ao seu desempenho, além das definições de quantitativos de mistura. É importante pontuar que a especificação do concreto também implica variações no ciclo de produção da obra, tendo o concreto autoadensável um bombeamento mais eficiente e com menor consumo energético, além de proporcionar vida útil maior às fôrmas, em relação ao concreto convencional.

A produção das armaduras inclui principalmente informações de armazenamento correto dos insumos, de montagem calculada para haver segurança e controle da variabilidade dimensional.

A inspeção das dimensões dos elementos pré-moldados pode incluir a integração com as informações do Gêmeo Digital, o modelo BIM associado ao projeto que serve de parâmetro para as dimensões requeridas. Nesse processo o uso de sensores e escâneres deve ocorrer tanto na planta de fabricação quanto na obra.

O transporte do concreto até a fôrma inclui informações acerca do controle e padronização do concreto para as paredes, considerando o lançamento do concreto e o processo de cura. Para a execução de paredes de concreto, faz-se necessário o uso de equipamentos pesados como guas, miniguas ou até mesmo caminhões munck para



edificações térreas.

Uma opção para otimizar a produtividade de construção de paredes de concreto é fazer o uso de fôrmas trepantes, justamente pela possibilidade de obter precisão nos ajustes de prumo e de alinhamento, menor consumo de cimento e de aditivos e adaptabilidade à diferentes geometrias. Além disso, elimina serviços manuais de montagem e desmontagem de andaimes. Essas fôrmas, definidas como um sistema composto por andaimes e painéis de fôrma, geralmente de alumínio, contam com um conjunto trepante formado por um console, escoras, montantes, cones e barras de ancoragem. O avanço vertical dos equipamentos acontece de modo progressivo e gradual, por meio de fôrmas apoiadas em plataformas fixadas aos trechos anteriormente concretados.

A adoção de equipamentos e medidas tecnológicas possui grande potencial para melhoria das características de industrialização das paredes pré-moldadas ou moldadas *in loco*, devendo-se explorar as possibilidades de aplicação para cada projeto.

Considerando essas informações, os seguintes requisitos vinculados à especificação técnica do sistema poderiam auxiliar na gestão desse sistema construtivo, associando aspectos técnicos e normativos para a correta execução de paredes pré-moldadas e moldadas *in loco*:

- Concepção estrutural;
- Informação dos vínculos dos painéis com a estrutura;
- Insumos empregados e traços específicos;
- Equipamentos de transporte, içamento e montagem.

### **Utilização do Building Information Modelling**

A metodologia BIM pode contribuir com a gestão integrada de todas as etapas do projeto e, por isso, pode ser um fator acelerador da industrialização da construção, agregando informações com objetivos definidos. A correta utilização da ferramenta e do método de gestão pode elevar níveis de produtividade por meio da identificação otimizada de falhas, do controle de medidas e ajustes em construções pré-moldadas, pela precisão alcançada em níveis de detalhamento de componentes desse sistema e na eficiente compatibilização dos projetos.

O Quadro 5 mostra como a utilização do BIM pode potencializar a produtividade de construções de paredes de concreto pré-moldadas.

Quadro 5 – Potencialidades de Industrialização com o uso do BIM

Item	Potencial de Industrialização com o uso do BIM
Sistema estrutural adequado à função desejada para a edificação	Realizar análises estruturais complexas que levem em consideração outras disciplinas de projeto para um atendimento funcional / programático otimizado.
Análise da estabilidade global, levando-se em conta a rigidez das ligações entre painéis pré-moldados.  Combinações de ações compatíveis e representativas.  Dimensionamento e verificação dos elementos estruturais.	Aplicações de projetos estruturais integradas em uma plataforma BIM, com auxílio de ferramentas como I.A permitem definir modelos otimizados de rigidez das ligações de modo a diminuir esforços e reduzir custos de projeto.
Especificações de materiais de acordo com os critérios de dimensionamento.	Com a parametrização dos materiais é possível alcançar uma integração facilitada entre projeto, suprimentos e orçamentação. O Uso do BIM 4D e 5D pode auxiliar neste aspecto.

Fonte: Adaptado de Angeliu *et al.* (2020)

Outro fator de destaque é a rastreabilidade dos processos operacionais do sistema construtivo no canteiro de obras, podendo haver simulação prévia da movimentação das peças ao longo do canteiro. Além disso, o BIM permite, quando integrado a sensores, realizar de forma automatizada a conferência dos componentes e elementos, associando-os aos elementos parametrizados no modelo de referência.

Em síntese, os seguintes requisitos vinculados à utilização do BIM como método de trabalho e de gestão poderiam auxiliar na gestão desse sistema construtivo, associando aspectos técnicos e normativos para a correta execução de paredes pré-moldadas e moldadas *in loco*:

- Construção do Gêmeo Digital;
- Construção de modelos com os níveis de detalhamento e de informações definidos para o acompanhamento de etapas específicas do ciclo de vida, inclusive, com prevenções de manutenção.
- Realização de análises estruturais;
- Realização de simulação de desempenho do sistema construtivo;
- Simulação prévia de processos operacionais no canteiro de obras;
- Uso de sensores diversos.

## **Automação dos Processos de Construção do Sistema**

O planejamento e a implementação de sistemas de automação evidenciam a necessidade de integração entre processos para se obter soluções comuns nas operações de produção. Além disso, há disparidades entre os processos industrializados e manufaturados que se complementam para gerarem produtos, como as edificações, alcançando diversos níveis de automação.

Dada a realidade nacional é possível aplicar as definições apresentadas nos estudos de Kotha e Orne (1989), estabelecendo uma relação com uma construção que pode compartilhar certos de níveis de mecanização de processos e operações, sistematização de processos e operações e interconexão de processos e operações. Entende-se que esta é uma relação de evolução gradual para a interconexão por meio da automação, o que resultaria na construção mais industrializada.

Nessa inferência, a mecanização inclui possibilidades que variam do desempenho manual das funções construtivas, com ferramentas e montagem de componentes até o controle programável de uma sequência de operações por máquinas para uma ou mais atividades. A sistematização de processos e operações incluiria o monitoramento e controle de dados e eventos que servem para obter perfis de informações sobre atividades previstas nas operações construtivas, comparar dinamicamente os eventos planejados e realizados, fornecer alternativas de soluções e executar ações de controle pontuais. E a interconexão sugere a presença de três fatores, a descontinuidade, a interdependência tecnológica e a flexibilidade de processos e operações da construção industrializada. Portanto, a interconexão seria representada pela integração entre os vários processos de produção e seus componentes.

A relação explicada por Kotha e Orne (1989) reforça a ideia apresentada por Chiantella (1982) quando o autor explica que o nível de automação seria como uma função que compõe o nível de mecanização e o nível de sistematização do processo produtivo. É preciso lembrar que classificar processos produtivos que incorporam avanços em tecnologia da informação e passam por eventuais tecnologias disruptivas (como a metodologia BIM) pode ser algo difícil, especialmente considerando as construções mistas brasileiras que associam componentes ou partes de sistemas industrializados e acabamentos e métodos de trabalho tradicionais. De forma genérica pode-se considerar que o grau de automação tende a aumentar, conforme definiu Chiantella (1982), Quadro 6. Encontra-se classificação semelhante em diversos estudos como os de Frohm *et al.* (2008) e Lindström e Winroth (2010):

Quadro 6 – Processos automatizados na produção de concreto

LoA*	Descrição	Trabalho	Equipamento	Exemplo
1	<b>Totalmente Manual</b>	Manual	Nenhum	Trabalho Braçal
2	<b>Ferramenta Manual Estática</b>	Manual	Ferramenta Estática	Chave Philips
3	<b>Ferramenta Manual Flexível</b>	Manual	Ferramenta Flexível	Chave Inglesa Ajustável
4	<b>Ferramenta Manual Automatizada</b>	Manual	Ferramenta Automatizada	Parafusadeira
5	<b>Ferramentaria Estática/Estação de Trabalho</b>	Automatizado	Maquinário Específico	Compactador de Solos
6	<b>Ferramentaria Flexível</b>	Automatizado	Maquinário Configurável	Maquinário de Usinagem
7	<b>Totalmente Automatizado</b>	Automatizado	Todos os Problemas são resolvidos por Maquinário	Sistemas Autônomos

\*LoA significa Levels of automation ou nível de automação.

Fonte: Chiantella (1982)

A despeito do modelo ou padrão industrializado seguido – supermax norte-americano, com variações de configuração de implantação pavilhão e poste telegráfico e paredes de concreto –, as características da construção industrializada e das tecnologias digitais da Indústria 4.0 podem influenciar uma série de aspectos no ciclo de vida da edificação. O Quadro 7, adaptado dos estudos de Reichenbach e Kromoser (2021), sintetiza esses aspectos nas etapas de projeto, produção e construção.

Quadro 7 – Processos automatizados na produção sustentável de concreto

		PROJETO	PRODUÇÃO	CONSTRUÇÃO
DIMENSÃO AMBIENTAL	Melhorar a eficiência do uso de recursos	<p>Otimizar a <i>performance</i> do projeto estrutural com o uso do BIM e I.A</p> <p>Otimizar a <i>performance</i> dos produtos com uso de materiais inovadores</p>	<p>Otimizar a utilização de materiais com a automação do controle de qualidade</p> <p>Reutilizar componentes</p> <p>Reciclar materiais descartados (excedente de concreto e águas residuais)</p>	Otimizar a construção com uso de elementos pré-moldados
	Reduzir o impacto no meio ambiente	Otimizar o processo produtivo com uso de equipamentos e métodos produtivos automatizados	Reduzir desperdício de materiais e de consumo de água	Gestão de resíduos e redução do consumo de água com uso de pré-moldados
			Otimizar transporte de recursos com uso de produção automatizada	Otimizar o planejamento do setor de suprimentos
			Otimizar a eficiência energética do maquinário	
DIMENSÃO ECONÔMICA	Melhoria Econômica no longo prazo	Reduzir custos com mão-de-obra através de projetos automatizados, como por exemplo, uso de criação procedural e <i>Design Thinking</i>	Redução de custos de trabalho com utilização de automação, como por exemplo, no Lançamento de Revestimentos Cimentícios, Maquinário para Assentar blocos entre outros	Redução dos custos de construção com uso de maquinário
		Redução dos custos de construção com processos automatizados que integrem elementos e insumos pré-moldados, de dimensões padronizadas, permitindo maior eficiência na montagem de peças.		
	Melhoria da qualidade e produtividade	Projetos repetitivos podem e devem ser feitos com uso de ferramentas automatizadas	Uso de <i>Big Data</i> para otimizar fluxo de informações acerca do processo produtivo	Enfoque em adotar elementos pré-moldados reduzindo variáveis que possam impactar no prazo
Melhoria da precisão dos projetos		Melhoria da produtividade com uso de escâneres para controle de qualidade	Melhoria da precisão nas medidas com uso de sensores	
Não necessita de mão-de-obra especializada (ferramentas de projeto BIM)		Adaptabilidade a todos os tipos de clima	Uso de maquinário de modo a garantir adaptabilidade a climas adversos	

		PROJETO	PRODUÇÃO	CONSTRUÇÃO
DIMENSÃO SOCIAL	Melhoria do bem-estar dos trabalhadores da indústria da construção civil	Reduzir trabalho repetitivo com uso de autômatos	Melhoria do ambiente de trabalho	
		Extraír as informações que podem ser identificadas a partir dos modelos paramétricos e realizar simulações para prever situações de risco		
	Melhoria do bem-estar da sociedade	Projetos custeáveis individualmente	Reduzir a necessidade de mão de obra especializada	Redução de perturbações nas edificações vizinhas com o uso de elementos pré-moldados e pré-fabricados, evitando a construção completa no sítio.
		Estruturas criativas e com maior aceitação		

Fonte: Adaptado de Reichenbach e Kromoser (2021)

Em síntese, os seguintes requisitos vinculados às especificações para automação do sistema construtivo poderiam auxiliar na gestão desse sistema, associando aspectos técnicos e normativos para a correta execução de paredes pré-moldadas e moldadas *in loco*:

- Planejamento e implementação de automação **parcial** ou **total** dos sistemas complementares e especificação dos componentes previstos no projeto.

### Cumprimento dos Requisitos de Qualidade

Este item será abordado a partir de duas perspectivas, a aplicação da metodologia BIM como ferramenta de gestão integrada desse sistema construtivo e as normatizações requeridas para a gestão da qualidade do sistema paredes de concreto pré-moldadas.

Em relação ao uso da metodologia BIM, alguns aspectos se destacam como o uso do BIM especialmente na etapa de planejamento, o uso de sensores diversos na etapa de construção e as possibilidades de previsão da manutenibilidade do sistema.

O uso do BIM para o planejamento de construções com paredes de concreto pré-moldadas é vantajoso porque possibilita definir o melhor layout em termos de armazenagem, transporte e fixação de elementos pré-moldados. Além disso, a modelagem é capaz de definir a sequência ideal de montagem em certos casos, auxiliando no cumprimento de prazos.

Quanto aos usos de sensores diversos na etapa da construção de paredes de concreto pré-moldadas, há um controle eficiente dos elementos pré-moldados, em distintas etapas da construção, como mostra o Quadro 8:

Quadro 8 – Uso de Sensores para gestão da qualidade de paredes de concreto

Estágio no Ciclo de Vida de Construção		Incorporação de Sensores
1	<b>Projeto</b>	Quando engenheiros realizam o projeto de estruturas com concreto pré-moldado, as informações são relativas à (1) Especificações, (2) Parâmetros de Projeto e (3) Modelos Analíticos de Estrutura. Havendo o BIM deste projeto, tais parâmetros devem ser incorporados à Plataforma de Gerenciamento de Construção Virtual, VCMP.
2	<b>Manufatura</b>	Os elementos pré-moldados modelados em BIM são mandados para a linha de produção de elementos pré-moldados de concreto. Os sensores são então alimentados com as informações incorporadas à VCMP.
2.a	<b>Alocação de Fôrmas</b>	A etapa mais sensível, em termos dimensionais, é a de alocação das fôrmas. As dimensões e ângulos das fôrmas são escaneadas usando um Scanner 3D de alto grau de precisão.
2.b	<b>Armação</b>	Na etapa de inserção das armaduras, o número de vergalhões, dimensão, posicionamento e espaçamento são conferidos com um Scanner 3D de alto grau de precisão.
2.c	<b>Concretagem</b>	As dimensões da peça são novamente submetidas à escaneamento, comparando-se as informações do BIM, encaminhadas à VCMP que define os critérios do Scanner. Outros sensores são utilizados, Sensores Térmicos são inseridos para aferir e controlar a temperatura da peça durante a cura do concreto.
3	<b>Atividades no canteiro</b>	Uma etiqueta é atribuída a cada elemento pré-moldado, funcionando como um código de barras que permite caracterizar informações sobre a peça. Sendo possível aferir o status da peça.
3.1	<b>Montagem</b>	O Scanner 3D é utilizado para garantir que a peça esteja na posição geométrica prevista em projeto, o Scanner então avisa o sistema de gestão VCMP que a peça está apta a acoplagem.
4	<b>Operação</b>	Sensores embutidos irão aferir a temperatura e eventuais deslocamentos da peça, sendo usados em conjunto a sensores que irão mensurar e encaminhar para armazenar dados de clima, gestão de edificações e movimentações estruturais, fornecendo subsídios para a gestão pós-obra.

Fonte: Hajdukiewicz et al. (2019)



No que tange à manutenibilidade do sistema construtivo, a metodologia BIM pode auxiliar com simulações sobre o tempo de uso do elemento estrutural e, embora seja algo complexo, a previsão de degradação da construção. É importante lembrar que o modelo BIM pode ter informações agregadas com especificações técnicas para o planejamento de verificações periódicas do sistema construtivo e das instalações complementares. Nesse caso, são aspectos observáveis sinais de corrosão, deterioração e depredação da parede de concreto da edificação penal, além de eventuais danos causados pela deterioração de instalações elétricas e hidro sanitárias.

Em termos de critérios normativos de projeto, destacam-se:

- ABNT NBR 16475:2017 – Painéis de Parede de Concreto Pré-Moldado: indica que a parede de concreto pré-moldado seja projetada e construída de modo a resistir a todas as ações às quais estarão sujeitas durante as fases de execução e durante sua vida útil. Além disso, sob as condições previstas pelo projeto, que ela conserve sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente de vida útil;
- ABNT NBR 12655:2015 e prescrições da ABNT NBR 9062:2017, relativas à preparação, dosagem experimental e prescrições dos concretos, indicam que deve ser mantido registro da dosagem experimental indicando fator água cimento adotado, trabalhabilidade e resistência à compressão. Deve ser registrada a resistência à compressão no momento da desforma e da liberação da protensão, correspondente à idade adotada na produção, além disso, deve ser controlado o módulo de elasticidade nas idades de liberação da protensão;
- ABNT NBR 5738 – Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (2016) e ABNT NBR 5739 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (2018), em relação ao controle tecnológico como critério fundamental para garantia da qualidade em elementos de concreto;
- ABNT NBR 16055:2012 – Parede de Concreto Moldada no Local para a Construção de Edificações – Requisitos e Procedimentos, que concerne à decisão quanto ao embutimento ou não embutimento das instalações nas paredes como uma atribuição do projetista estrutural. Explica-se que esse embutimento não deve comprometer o sistema construtivo, considerando-se as exigências de manutenibilidade das instalações prediais ao longo da vida útil;

- ABNT NBR 15575:2013 e normatizações afins – Normatizações vinculadas a desempenho e durabilidade do sistema, considerados critérios de estabilidade de sistemas estruturais, de deslocamento de sistemas estruturais, de desempenho térmico das edificações e outros critérios.

Ante as informações apresentadas, os seguintes requisitos vinculados à gestão da qualidade poderiam auxiliar na gestão desse sistema construtivo, associando aspectos técnicos e normativos para a correta execução de paredes pré-moldadas e moldadas in loco:

- Cumprimento das normatizações para construção de paredes de concreto;
- Controle e monitoramento das instalações complementares que podem interferir no sistema construtivo;
- Auditorias BIM nos modelos construídos para averiguação do alinhamento do escopo do projeto com as partes interessadas, dos componentes do modelo, da integridade do modelo, da documentação e das compatibilizações;
- Uso do BIM no planejamento do canteiro de obras e uso de sensores diversos na etapa de construção;
- Controle de materiais e de insumos;
- Controle da manutenção do sistema construtivo.



## **CAPÍTULO 04**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado mostrou a relação histórica, técnica e tecnológica de dois sistemas industrializados aplicados na construção da edificação penal, o sistema *supermax* norte-americano e o sistema monobloco pré-fabricado, considerando a prevalência do padrão *supermax* norte-americano associado ao concreto pré-moldado ou moldado *in loco* como método produtivo industrializado aplicado às edificações penais.

Em que pese a complexidade da gestão da construção industrializada, sobretudo aplicada à arquitetura penal, afigura-se essencial a identificação e análise dos parâmetros potenciais que organizados poderiam contribuir como um guia de referência para avaliação do desempenho dos referidos sistemas ou de partes deles.

Um sistema de informação pode ser estruturado em diversos formatos, como *checklists*, Estrutura Analítica de Projeto (EAPs), estruturas de avaliação e *scorecards*. Em função do escopo desse estudo sugere-se o desenvolvimento do *scorecard* para o acompanhamento das etapas do ciclo de vida da edificação penal, visado a transparência do próprio processo de projeto.

- Embora esse estudo contenha informações específicas para a edificação penal, especialmente requisitos vinculados ao desempenho do sistema de paredes de concreto moldadas *in loco* em relação aos critérios de segurança necessários, o foco principal é o sistema industrializado de construção, havendo, portanto, a possibilidade de adaptações do *scorecard* para outros tipos de edificação, como escolas e hospitais, visando a orientação do processo de planejamento, do processo do projeto, da construção e da gestão sustentável dos empreendimentos.

Como contribuição inicial, identificaram-se os seguintes eixos estruturantes potenciais para organizar um *scorecard*:

- A especificação do sistema industrializado aplicado;
- O ciclo de vida da edificação penal, incluindo as etapas de planejamento, projeto, execução da obra; operacionalização e manutenção, reforma ou requalificação e desconstrução ou demolição, além do descarte final, sendo necessária a verificação das etapas compatíveis com o empreendimento;
- O alinhamento tecnológico com a metodologia BIM, por incluir tanto aspectos de produção do projeto e do modelo quanto aspectos de gestão do empreendimento.

O Quadro 9 lista as principais temáticas abordadas nesse estudo para orientar os parâmetros que precisarão ser incluídos no *scorecard*, além da informação principal que pode ser extraída e das informações complementares que precisarão de desdobramentos:

Quadro 9 - Temáticas identificadas

Temática	Informação principal	Informações complementares
Planejamento do tipo	Concepção do tipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>α) Tipo de edificação penal ou projeto referencial;</li> <li>β) Nova construção, ampliação, requalificação ou substituição de instalações prediais.</li> </ul>
Processo do projeto	Industrialização do sistema construtivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>α) A especificação do tipo de sistema construtivo: sistema supermax norte-americano, sistema monobloco pré-fabricado, sistema misto;</li> <li>β) Especificação dos insumos ou recursos utilizados;</li> <li>χ) Especificação de mais características relativas à produção do sistema.</li> </ul>
Processo do projeto e execução	Modulação	<ul style="list-style-type: none"> <li>α) A definição da modulação projetada para o sistema.</li> </ul>
Processo do projeto e execução	Automação	<ul style="list-style-type: none"> <li>α) Especificação e/ou indicação de componentes ou dispositivos que automatizem processos;</li> <li>β) Alertas de segurança;</li> <li>χ) Monitoramento de operações.</li> </ul>
Processo do projeto e execução	Sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>α) Definições de projeto relacionadas à racionalização do sistema construtivo;</li> <li>β) Uso do BIM como ferramenta de gestão e tecnológica e de simulação de desempenho;</li> <li>χ) Gestão de resíduos gerados.</li> </ul>
Execução	Operacionalidade no canteiro	<ul style="list-style-type: none"> <li>α) Modelo BIM;</li> <li>β) Logística do canteiro e transporte de materiais;</li> <li>χ) Controle de insumos, de recursos;</li> </ul>

Temática	Informação principal	Informações complementares
Execução	Controle da execução	<ul style="list-style-type: none"> <li>α) Monitoramento e controle de peças, da estrutura necessária para montagem;</li> <li>β) Monitoramento da montagem de componentes pré-fabricados.</li> </ul>
Manutenção	Previsão e realização de manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>α) Previsão de manutenção.</li> <li>β) Verificações periódicas do sistema.</li> </ul>
Requalificação	Não rastreado	Não rastreado
Demolição	Não rastreado	Não rastreado

Indica-se que as temáticas acima apresentadas estejam classificadas e organizadas em categorias de informações: de processos de planejamento e gestão da edificação penal; de garantia da segurança física nas edificações penais; de critérios de escolha dos materiais e dos processos de construção da edificação penal; de aspectos econômicos e financeiros do projeto da edificação penal; dos impactos gerados pela implantação da edificação penal no contexto local, na comunidade local e em relação ao meio ambiente.

Claramente esse *scorecard* será baseado em aspectos qualitativos e na relação entre eles, necessitando de construção ou adaptação metodológica para a classificação de tais aspectos. Por isso, indica-se também que cada uma dessas categorias de informações seja desenvolvida até alcançar informações objetivas em relação:

- Ao objetivo principal proposto pelo *scorecard*, de forma orientada e fundamentada;
- Às especificações para desdobramentos de critérios, claramente descritos, a serem avaliados;
- Aos elementos ou situações no contexto do sistema construtivo especificado que demonstram de que forma os critérios serão cumpridos;
- Às evidências pelas quais se pode verificar fisicamente as informações solicitadas por meio de indicadores, critérios ou princípios;
- Aos documentos referenciais e bases de dados que normatizam, regulamentam ou fundamentam os requisitos de desempenho do sistema.

Destaca-se que não há um consenso entre a estrutura normativa vigente no país e as boas práticas para projetos e gestão de projetos e

obras devido às origens diversas dos documentos e aos aspectos específicos de cada referencial. Espera-se, portanto, que a busca por esses referenciais evidencie essa questão, sendo desejáveis discussões nesse âmbito com o intuito de gerar formulações de normas técnicas e políticas públicas que contemplem um processo do projeto integrativo com uma gestão em BIM para sistemas industrializados na construção civil, mesmo a partir do escopo das edificações penais.

Por fim, esta é uma contribuição teórica e prática por apresentar um estudo aplicado com modelos referenciais, para o desenvolvimento de um instrumento qualitativo, um *scorecard*, com o intuito de avaliar e monitorar o processo de projeto e execução de obras de edificações penais com paredes de concreto moldadas *in loco*, visando alcançar a transparência no processo desse tipo de sistema construtivo e, em sentido amplo, a aceleração da aprendizagem envolvida em toda a CPIC.





**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, (ABDI) MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS, (MDIC). A Implantação de Processos BIM. [s.l: s.n.]. v. 6, 2017.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, (ABDI). Manual da Construção Industrializada. Conceitos e etapas – vol. 1: Estrutura e Vedação. 2015. Disponível em: [https://issuu.com/lacisunb/docs/manual\\_da\\_constru\\_\\_\\_\\_o\\_abdi](https://issuu.com/lacisunb/docs/manual_da_constru____o_abdi). Acesso em: 16 jan, 2023.

ANGJELIU, G.; CORONELLI, D.; CARDANI, G. Development of the simulation model for Digital Twin applications in historical masonry buildings: The integration between numerical and experimental reality. *Computers & Structures*, 2020. Disponível em: <https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S0045794920300857>. Acesso em: 05 out, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16475: Painéis de Parede de Concreto Pré-Moldado – Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5706: Coordenação Modular da construção: procedimento. Rio de Janeiro, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5725: Ajustes modulares e tolerâncias : procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9262:

- Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Síntese da Coordenação Modular. Rio de Janeiro, 1975.
- AZUL, Isabella Silva de Serro. Sistemas construtivos pré-fabricados de concreto armado: habitações contemporâneas no Brasil. 2018. 190 f. Dissertação (Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.
- BENEVOLO, L. A cidade e o arquiteto: método e história na arquitetura. São Paulo: Perspectiva, 2004.
- BLUMENSCHNEIN, R. N. A Sustentabilidade na Cadeia Produtiva da Indústria da Construção; 263 p., 24 mm, Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Doutorado, Política e Gestão Ambiental; Brasília, 2004.
- BLUMENSCHNEIN, R. N.; CAVALCANTE, N.; PINA, P. S. F. Teoria e Prática da Arquitetura Penal: cadeia produtiva das edificações penais, 2021.
- BRASIL. DECRETO nº 9.377 de 17 de maio de 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2018.
- BRETTEL, M. et al. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, vol. 8, no. 1, 2014.
- BRUNA, P. J. V. Arquitetura, industrialização e desenvolvimento. São Paulo: Editora Perspectiva, 1976.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, (CBIC). Construção Civil: desempenho 2021 e cenário para 2022. Banco de Dados CBIC Dezembro/2021. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2021/12/construcao-civil-desempenho-2021-e-cenarios-2022.pdf>. Acesso em 16 jan, 2023.
- CARDOSO, A. L.; JAENISCH, S. T.; ARAGÃO, T. A. Introdução. In: CARDOSO, A. L.; JAENISCH, S. T.; ARAGÃO, T. A. (orgs.). Vinte e dois anos de política habitacional no Brasil: da euforia à crise. Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrôpoles, 2017. p. 15-48.
- CHIANTELLA, N., Achieving integrated automation through computer networks. SME/CASA Computer Integrated Manufacturing Series, Vol. 1 n. 2, pp. 2-21, 1982.
- CLETO, F.R.; CARDOSO, F.F. Referenciais tecnológicos para a construção de edifícios. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/464. São Paulo, SP, 2007.

COELHO, R. A. Interpretando a psicologia e a personalidade de cada material. *Revista Mais Arquitetura*. São Paulo, nº 58, p. 72. Abril 2004.

DARKO, Amos et al. Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. *Automation in Construction*, v. 112, p. 103081, 2020.

DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or hype? *IEEE industrial electronics magazine*, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. *Manual de BIM – Um Guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores*. Porto Alegre, Bookman, 2014.

FABRICIO, Márcio Minto. Industrialização das construções: revisão e atualização de conceitos. Pós. *Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP*, v. 20, n. 33, p. 228-248, 2013.

FIRJAN. *Indústria 4.0: Panorama da Inovação*. 2016.

FORBES, Lincoln H.; AHMED, Syed M. *Modern construction: lean project delivery and integrated practices*. CRC press, 2010.

FROHM, J.; STAHR, J.; WINROTH, M. Levels of automation in manufacturing. *Ergonomia – Na International Journal of Ergonomics and Human Factors*, Vol. 30, Issue 3, 2008.

GARCIA, A.; MOLLAOGLU, S.; SYAL, M. Implementation of BIM in Small Home-Building Businesses. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, v. 23, n. 2, p. 1–11, 2018.

GEISSBAUER, R., VEDSO, J. AND SCHRAUF, S. *Industry 4.0: building the digital enterprise*. 2016 global industry 4.0 survey, 2015. Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/industries /industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>. Acesso em: 05 set, 2022.

GIRMSCHIED, G.; FRITS, S. *New perspective in industrialisation in construction: A state-of-the-art report*, 2010.

GIRMSCHIED, G.; BROCKMANN, C. Inter-and intraorganizational trust in international construction joint ventures. *Journal of construction engineering and management*, v. 136, n. 3, p. 353-360, 2010.

GLAESSGEN, Edward; STARGEL, David. The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles. In: *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference 20th AIAA/ASME/AHS adaptive structures conference 14th AIAA*. 2012. p. 1818. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2012-1818>. Acesso em 16 jan, 2023.

- GREVEN, Hélio A.; BADAUF, Alexandra S. F. Introdução à Coordenação Modular da construção no Brasil: Uma abordagem atualizada -Coleção HABITARE/ FINEP. Porto Alegre: 2007.
- HABIB, H.; ERZAIJ, K. Employ 6D-BIM Model Features for Buildings Sustainability Assessment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 901. 012021. 10.1088/1757-899X/901/1/012021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/344837833\\_Employ\\_6D-BIM\\_Model\\_Features\\_for\\_Buildings\\_Sustainability\\_Assessment](https://www.researchgate.net/publication/344837833_Employ_6D-BIM_Model_Features_for_Buildings_Sustainability_Assessment). Acesso em 16 jan. 2023.
- HAJDUKIEWICZ, M.; GOGGINS, J.; DE LA TORRE, O.; HOLLERAN, D.; KEANE, M. M. An automated standard-based life cycle quality inspection methodology for smart precast concrete solutions in buildings. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, v. 4, n. 3, p. 123-134, 2019.
- HARDIN, Brad; MCCOOL, Dave. BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows. John Wiley & Sons, 2015.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: Hawaii International Conference on Systems Science. 2016. p. 3928–3937
- HULL, Joanna; EWART, Ian J. Conservation data parameters for BIM-enabled heritage asset management. *Automation in Construction*, v. 119, p. 103333, 2020.
- JOHNSEN, C. A.; DREVLAND, F. Lean and sustainability: Three pillar thinking in the production process. IGLC 2016 - 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, n. 23, p. 23–32, 2016.
- JOHNSEN, C. A.; DREVLAND, F. Lean and sustainability: Three pillar thinking in the production process. IGLC 2016 - 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, n. 23, p. 23–32, 2016.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Frankfurt, 2013.
- KAMARDEEN, I. 8D BIM Modelling tool for accident prevention through design. Faculty of Build Enviroment, University of New South Wales, Australia, 2010.
- KASSEM, M.; AMORIM, S. R. L. BIM – Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia. Brasília: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2015. Disponível em: <<http://sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/bim.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2022.
- KHODEIR, L. M.; OTHMAN, R. Examining the interaction between lean and sustainability principles in the management process of AEC

- industry. *Ain Shams Engineering Journal*, v. 9, n. 4, p. 1627–1634, 2018.
- KOSKELA, L. Application of the new production philosophy to construction. Stanford, EUA, CIFE, 1992
- KOSKELA, L.; OWEN, R.; DAVE, B. Lean construction, building information modelling and sustainability. *Eracobuild Workshop*, Malmö, Sweden, v. 44, n. 0, p. 1–8, 2010.
- KOSKELA, Lauri et al. Application of the new production philosophy to construction. Stanford: Stanford university, 1992.
- Kotha, S. and Orne, D. (1989), Generic manufacturing strategies: A conceptual synthesis. *Strat. Mgmt. J.*, 10: 211-231. <https://doi.org/10.1002/smj.4250100303>.
- LE CORBUSIER. *Modulor*. The Mit Press, 1973.
- LINDSTRÖM, V.; WINROTH, M. Aligning manufacturing strategy and levels of automation: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management*, Vol. 27, Issue 3-4, pp.148–159, 2010.
- MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS, (MDIC). *Estratégia BIM BR: Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – BIM*. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/ptbr/images/REPOSITORIO/sdci/CGMO/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf>. Acesso em 05 set., 2022.
- MURGUIA, Danny; DEMIAN, Peter; SOETANTO, Robby. Systemic BIM Adoption: A Multilevel Perspective. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 147, n. 4, p. 04021014, 2021.
- MOBUSS CONSTRUÇÃO. *Tendências da Engenharia Civil para 2022: o que esperar do setor?* Disponível em: <https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/tendencias-engenharia-civil/>. Acesso em 16 jan, 2023.
- NETTO, CLAUDIA CAMPOS - Autodesk® Revit® Architecture 2016 : conceitos e aplicações / Claudia Campos Netto. - 1. ed. - São Paulo : Érica, 2016. 464 p.
- ODBREZNIK, Peter; REBOLJ, Danijel. Modeling conditions required for recognition of building elements from site images. *E-Work and E-Business in Architecture, Engineering and Construction*, 2020.
- ONU. Economic and Social Council official records, 28th session: 1068th meeting, Monday, 6 July 1959, Palais des Nations, Geneva. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/710522>. Acesso em 16 jan, 2023.
- PEREIRA, A.; SIMONETTO, E. O. Indústria 4.0: Conceitos e Perspectivas para o Brasil. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*.

ISSN: 1517-0276 / EISSN: 2236-5362 Vol. 16 | n. 1 | Ano 2018.

REICHENBACH, S.; KROMOSER, B. State of Practice of Automation in Precast Concrete Production. *Journal of Building Engineering*. 43. 13. 10.1016/j.jobbe.2021.102527. 2021. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/350965489\\_State\\_of\\_Practice\\_of\\_Automation\\_in\\_Precast\\_Concrete\\_Production](https://www.researchgate.net/publication/350965489_State_of_Practice_of_Automation_in_Precast_Concrete_Production). Acesso em: 05 dez, 2022.

ROMCY, Neliza Maria et al. Desenvolvimento de aplicativo em ambiente BIM, segundo princípios da Coordenação Modular. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 2, p. 23-39, 2014.

ROSSO, T., *Racionalização da Construção*. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, EDUSP, São Paulo, 1990.

SABBATINI, Fernando Henrique. Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989. doi:10.11606/T.3.2017.tde-30082017-091328. Acesso em: 2023-01-15.

SAKAMORI, MARCELO MINO; SCHEER, SERGIO. Processo de extração de quantitativos de um modelo BIM 5D. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, CONTECC. 2016.

SENAI. Carta da indústria 4.0. SENAI 4.0. Disponível em: <https://www.senai40.com.br/>. Acesso em: 26 ago. 2022.

SHIROWZAN, Sara, Samad M.E. Sepasgozar, DAVID, J. Edwards, HENG LI, Chen Wang, BIM compatibility and its differentiation with interoperability challenges as an innovation factor, *Automation in Construction*, Volume 112,2020,103086, ISSN 0926-5805. 2020.

SMITH, Ryan E. *Prefab architecture: A guide to modular design and construction*. John Wiley & Sons, 2010.

TATUM, C. B.; VANEGAS, Jorge A.; WILLIAMS, J. M. Constructability improvement using prefabrication, preassembly, and modularization. Austin, TX, USA: Bureau of Engineering Research, University of Texas at Austin, 1987.

TENÓRIO, J. R.; LIMA, S. F. C. Construções penais e o diálogo com a cidade: a (não) política de implantação de equipamentos penais no meio urbano. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 10, p. 371-386, 2018.

TOMMELEIN, Iris D. Journey toward lean construction: Pursuing a paradigm shift in the AEC industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 141, n. 6, p. 04015005, 2015.

WHITLOCK, Kane et al. 4D BIM for Construction Logistics Management. *Journal of CivilEng*, v. 2, n. 2, p. 325-348, 2021.



XIFAN, Y.; ZHOU, J.; ZHANG, J.; BOER, C. R. 2017. From Intelligent Manufacturing to Smart Manufacturing for Industry 4.0 Driven by Next Generation Artificial Intelligence and Further On. Proceedings - 2017 5th International Conference on Enterprise Systems: Industrial Digitalization by Enterprise Systems, ES 2017: 311–18.

XU, Dan. Research on the Construction of BIM Internationalized Talents Training Faculty Team Based on Computer Aided Technology. In: Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2020. p. 022040.

## NORMATIZAÇÃO PARA COORDENAÇÃO MODULAR

NBR 5725	Ajustes modulares e tolerâncias
NBR 5713	Altura modular de teto/piso (ente pavimentos consecutivos)
NBR 5710	Alturas modulares de piso a piso, de compartimento e estrutural
NBR 5718	Alvenaria modular
NBR 6136	Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos
NBR 5720	Coberturas
NBR 5716	Componentes de cerâmica, de concreto ou de outro material utilizado em lajes mistas na construção coordenada modularmente
NBR 5731	Coordenação modular da construção - terminologia
NBR 5706	Coordenação modular da construção – procedimento
NBR 5728	Detalhes modulares de esquadrias
NBR 5721	Divisória modular vertical interna
NBR 5727	Equipamento para complemento da habitação na construção coordenada modularmente
NBR 5717	Espaço modular para escadas
NBR 5722	Esquadrias modulares
NBR 5723	Forro modular horizontal de acabamento (placas, chapas ou similares)
NBR 5715	Local e instalação sanitária modular
NBR 5709	Multimódulos
NBR 5714	Painel modular vertical
NBR 5707	Posição dos componentes da construção em relação à quadrícula modular de referência
NBR 5729	Princípios fundamentais para a elaboração de projetos coordenados modularmente
NBR 5719	Revestimentos
NBR 5726	Série modular de medidas
NBR 5730	Símbolos gráficos empregados na coordenação modular da construção
NBR 5724	Tacos modulares de madeira para soalhos na construção coordenada modularmente
NBR 5711	Tijolo modular de barro cozido
NBR 5708	Vãos modulares e seus fechamentos

