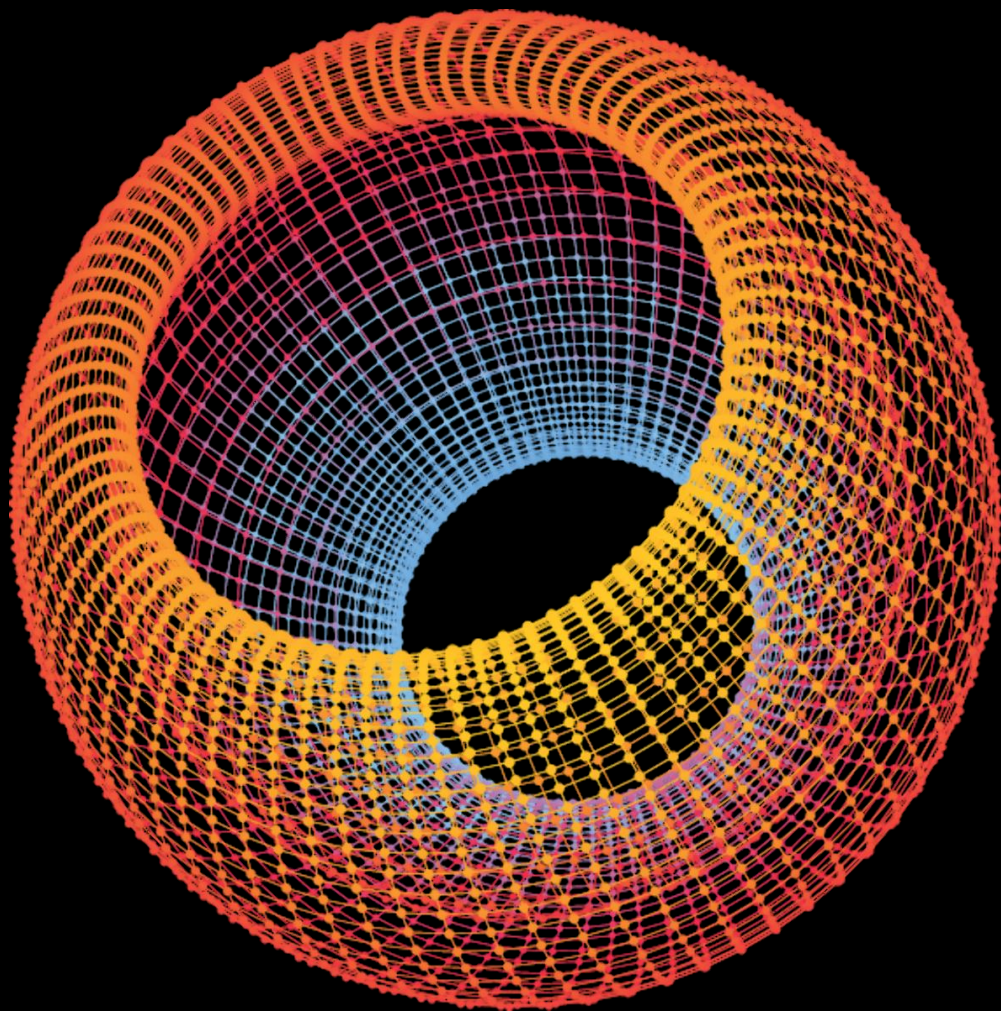




Transformação digital na engenharia industrial

Infrastructure & Capital Projects

PONTO DE VISTA / 2026

Transformação digital na engenharia industrial

Infrastructure & Capital Projects

Conteúdo colaborativo | ProEC + especialistas



PORTFÓLIO
E ESTRATÉGIA

CUSTOS E
PROJEÇÕES

RISCOS E
CENÁRIOS

ESG E
SUSTENTABILIDADE

CONFORMIDADE
E GOVERNANÇA

ENGENHARIA

PLANEJAMENTO

CUSTOS

CONSTRUÇÃO

OPERAÇÃO

A tecnologia só gera valor quando dados confiáveis, processos bem desenhados e pessoas capacitadas operam como um único sistema.

Este material reúne perspectivas do ProEC e de especialistas sobre a evolução da robótica, a colaboração digital, o ecossistema tecnológico integrado e o desenvolvimento de competências para o BIM aplicadas ao contexto dos projetos e processos de engenharia industrial, construção e montagem.

SUMÁRIO

- 01 INTRODUÇÃO: PRESSÕES E CONTEXTO HISTÓRICO
- 02 ESTRUTURA ANTES DA TECNOLOGIA
- 03 FUNDAMENTOS DA COLABORAÇÃO DIGITAL
- 04 ECOSSISTEMA TECNOLÓGICO INTEGRADO
- 05 FATOR HUMANO E CAPACITAÇÃO
- 06 SÍNTESE E VISÃO DE FUTURO

01

CONTEXTO

INTRODUÇÃO: PRESSÕES E CONTEXTO HISTÓRICO

01

CONTEXTO

Introdução: pressões e contexto histórico

A evolução da construção: do canteiro tradicional à obra conectada e inteligente



CANTEIRO TRADICIONAL

PRÉ-FABRICAÇÃO E MODULARIZAÇÃO

AUTOMAÇÃO E ROBÓTICA INDUSTRIAL

ROBÓTICA MÓVEL E AUTONOMIA

OBRA CONECTADA E INTELIGENTE

O imperativo da mudança

A engenharia industrial atravessa uma transformação que altera a própria forma de produzir conhecimento e tomar decisões. Gestores de projetos estão cada vez mais pressionados por restrições de prazo, orçamento e disponibilidade de mão de obra qualificada. Nesse contexto, a digitalização deixa de ser um diferencial e passa a ser um requisito para a competitividade e a capacidade de entrega.

As principais pressões que redesenham o setor



Produtividade e escassez de recursos

A necessidade de ganhos de produtividade e agilidade na tomada de decisão torna a digitalização fundamental para a correção de rotas e o cumprimento de metas.



Complexidade crescente e previsibilidade

Projetos de capital envolvem cadeias extensas, múltiplos contratados e um grande volume de informações. Garantir que elas se consolidam de forma correta e consistente ao longo do ciclo de vida é o grande desafio.



Sustentabilidade

Reduzir desperdícios, minimizar retrabalhos e aumentar a previsibilidade para otimizar o uso de recursos. Decisões mais rápidas e baseadas em evidências fortalecem a governança corporativa e os compromissos ESG.

“

A tecnologia só gera valor quando dados confiáveis, processos bem desenhados e pessoas capacitadas operam como um único sistema.

LEITURA DE ABERTURA

O imperativo da mudança: pressões que redesenham o setor

A engenharia industrial atravessa uma transformação que altera a própria forma de produzir conhecimento e tomar decisões. Gestores de projetos estão cada vez mais pressionados por restrições de prazo, orçamento e disponibilidade de mão de obra qualificada. Nesse contexto, a digitalização deixa de ser um diferencial e passa a ser um requisito para a competitividade e a capacidade de entrega.

As principais pressões que redesenham o setor são:

- **Produtividade e escassez de recursos:** a necessidade de ganhos de produtividade e agilidade na tomada de decisão torna a digitalização fundamental para a

correção de rotas e o cumprimento de metas.

- **Complexidade crescente e previsibilidade:** projetos de capital envolvem cadeias extensas, múltiplos contratados e um grande volume de informações. A principal dificuldade não é gerar informações, mas garantir que elas se consolidam de maneira correta e consistente ao longo do ciclo de vida do empreendimento, exigindo agilidade e capacidade de antecipar cenários.
- **Sustentabilidade:** em um mundo com recursos naturais cada vez mais escassos, empresas precisam reduzir desperdícios, minimizar retrabalhos e aumentar a previsibilidade para otimizar o uso de recursos. A transformação digital cria condições para decisões mais rápidas e baseadas em evidências, alinhadas aos aspectos

sustentáveis que norteiam a governança corporativa.

Panorama da automação e robótica aplicada à construção civil

Fabiano Rogerio Corrêa

Em março de 1998, a Associação Internacional para Automação e Robótica na Construção (IAARC) publicou um catálogo técnico contendo informações sobre 76 robôs produzidos no Japão, na Suécia e na Alemanha, empregados em um amplo espectro de aplicações no setor da Construção, listados a seguir:

- Demolição;
- Levantamento topográfico;
- Escavação e movimentação de terra;
- Pavimentação;
- Tunelamento;
- Transporte e distribuição de concreto;

- Execução de contrapiso e acabamento em lajes de concreto;
- Transporte com guias e caminhões autônomos;
- Soldagem e posicionamento de componentes de aço estruturais;
- Pintura e jateamento para proteção passiva contra incêndio;
- Inspeção e manutenção;
- Execução de construção integrada à edificação.

Foram protótipos que começaram a ser desenvolvidos na década de 1970, em particular no Japão, motivados por um aumento da população urbana que criou demanda habitacional, ao mesmo tempo em que havia falta de mão-de-obra especializada, promovendo assim o uso da automação na pré-fabricação e na construção como alternativa. Em 1975, a **Shimizu Corporation**, estabeleceu um grupo de pesquisa em Tóquio para o desenvolvimento de robôs para construção.

Podemos considerar estes exemplos como pertencentes às primeiras iniciativas no campo da Robótica na Construção Civil. De lá para cá, tanto a produção no canteiro de obra quando fora dele avançaram bastante, assim como também avançou a Robótica.

A história da Robótica na Construção, contada pela experiência da IAARC, e principalmente pelo **Professor Thomas Bock**, da Universidade Técnica de Munique (que escreveu *The Cambridge Handbooks in Construction Robotics*, uma coleção de cinco volumes), considera principalmente as experiências ocorridas no Japão como sendo um reflexo do que temos de mais avançado no mundo – à exceção, possivelmente, do que pode estar ocorrendo na China nos últimos anos, mas que temos poucas informações para análise.

Assim, observou-se inicialmente um processo necessário de racionalização do produto e o desenvolvimento de projetos de casas modulares, que evoluíram para elevados níveis de personalização, seguido pela criação de diversos protótipos de robôs dedicados a tarefas bastante específicas no ambiente da construção. Esses últimos levaram ao entendimento de que grande parte da produtividade obtida durante a operação de um robô em obra era perdida no processo de sua implantação no local, bem como na disrupção dos métodos tradicionais de trabalho ao seu redor, principalmente por questões de

segurança. Os primeiros robôs não podiam compartilhar o mesmo espaço de trabalho com seres humanos, pois eram muito pesados e incapazes de detectar a presença de pessoas em seu trajeto. A partir dessa constatação, compreendeu-se que seria fundamental transformar o ambiente de construção e estruturá-lo de forma semelhante a uma fábrica, de modo a facilitar a introdução de robótica.

Para o caso específico de edifícios, as implementações destas “fábricas” que se movem verticalmente com a construção de cada pavimento, e que provém um ambiente fechado, controlado, propício para o emprego de diferentes robôs começaram a surgir na década de 90 com o Automated Building Construction System (ABCS) da **Obayashi Corporation**, e ainda hoje inspiram aplicações como as da **Upbrella Construction** e seu “Upbrella sheltered construction system”, mesmo que para apenas organizar e racionalizar o trabalho da mão-de-obra.

Hoje em dia, o que temos implementado e trazendo maiores benefícios, são robôs móveis que funcionam como plataforma de sensores para “Captura da Realidade”: os drones, os cachorros-robôs como o Spot da **Boston Dynamics** etc. No entanto, são apenas uma forma de captura de dados / informação para tomar decisões mais embasadas ou para ter dados de forma mais célere e de modo automatizado. É ainda o antigo desafio de que automação e robótica, da forma como são concebidas, projetadas e programadas, demandam uma previsibilidade dos processos e do ambiente de produção, o que definitivamente não existe na construção tradicional. Por outro lado, com novas tecnologias e paradigmas, como os da área da Inteligência Artificial, percepção (sensoriamento do ambiente e feedback para os sistemas) e controle autônomo de robôs cada vez com mais destreza estão surgindo para potencialmente mudar esta história.

Isso é um reflexo da maturidade do mercado em assimilar tecnologia que inicialmente eram apenas resultado de pesquisas. O **Simpósio Internacional de Automação e Robótica na Construção** (ISARC), evento científico anual promovido pela IAARC, que congrega majoritariamente universidades, mas é aberto e atrai também empresas, já foi mais focado em tecnologias de hardware e robótica, mas nos últimos anos (em parte devido ao custo e às dificuldades de

se fazer pesquisa com robôs reais), a maioria dos trabalhos têm tratado de software e de BIM. Como parâmetro, no ISARC deste ano de 2026 em Singapura, dos 332 artigos publicados nos anais, apenas 37% tratavam efetivamente da questão de robôs na Construção.

Tendo comparecido ao evento deste ano, o ponto alto foi uma visita técnica ao edifício laboratório da **Kajima Corporation**, uma filial em Singapura da empresa japonesa. Esta visita foi promovida pelos organizadores do ISARC, apesar de ter sido restrita a alguns poucos participantes selecionados. Dentre as várias atividades desenvolvidas durante a visita, um painel foi particularmente inspirador, que contou com a presença de diferentes agentes do ecossistema que tem permitido à Ásia estar liderando a iniciativa do desenvolvimento de aplicações robóticas para a Construção.

Segundo o Relatório Técnico de 2026 da Zacia Ventures, os últimos 3 anos produziram mudanças no cenário da aplicação de robótica na construção: o desenvolvimento de algoritmos de Inteligência Artificial na Robótica avançou mais uma etapa, a pressão sobre o setor da construção para desempenho aumentou considerando mão-de-obra, segurança do trabalho, transição energética e programas de infraestrutura, e por fim, uma onda de aplicações de robôs na construção que sobreviveram ao trabalho em condições reais. Assim, é apontado neste mesmo documento que existem atualmente 4 fluxos de trabalho onde a aplicação de robótica na Construção é realidade:

- 1) Locação e medição;
- 2) Serviços de terraplenagem e movimentação de terra;
- 3) Estruturas e armaduras;
- 4) Inspeção e captura digital.

Estes resultados são graças ao surgimento de muitas startups de base tecnológica que tem revolucionado as aplicações até no setor da Construção, de onde podemos listar dois exemplos bem-sucedidos: **FieldAI** em conjunto com a **BostonDynamics** e **Dusty Robotics**.

Por fim, o que muitas vezes fica fora do radar dos observadores americanos e europeus, alguns exemplos mais recentes desta que tem sido uma área com bastante novidade nos últimos 5-10 anos. Casos conhecidos que envolvem a China no setor da Construção são:

- **Sany Group**, equipamentos de construção pesada, onde todas as máquinas são monitoradas remotamente;
- **Broad Group**, e seu sistema construtivo modular em aço, e que permite a produção de módulos para edifícios que podem ser montadas rapidamente;
- O uso de Manufatura Aditiva ou Impressão 3D pela **WinSun**;

Analisando o histórico apresentado e o contexto atual, a evolução do desenvolvimento da Automação e da Robótica na Construção nos remete a princípios de ‘design for robotics’ que poderiam ser assim enumerados:

- De um lado, deve-se considerar o quanto a indústria da construção está disposta a investir e transformar o canteiro de obras tradicional num ambiente que possa facilitar a incorporação de tecnologia para Automação e Robótica. O canteiro de obras tradicional muda ao longo da obra e suas condições de trabalho são no mínimo desafiadoras. Quanto mais previsíveis forem os processos de produção, mais fácil será a introdução de tecnologia;
- Por outro lado, o avanço da Robótica, dos robôs industriais para os robôs móveis e para robôs humanoides, permite que eles sejam empregados sem grandes alterações nos atuais processos construtivos, apesar da complexidade e do custo de desenvolvimento de tais robôs / sistemas;
- E em ambos os casos, se pensarmos no produto da Construção, seja edificação, obra industrial ou infraestrutura, como formada por componentes pré-fabricados, as soluções para desenvolvimento da tecnologia de automação e robótica seria facilitada se entendêssemos o conceito de ‘Design for Automatic or Robotic Assembly’, ou simplesmente, ‘Design for Robotics’;
- Por fim, o sistema de controle de máquinas e robôs também contém algumas escolhas de projeto: a possibilidade de sistemas controlados à distância, muitas vezes através de fibra óptica,

sistemas automáticos sem feedback e com feedback (sensoriamento para se adaptar às condições de perturbação da situação ideal), e até sistemas autônomos;

Para concluir, nas palavras do professor T. Bock, a implementação da robótica na construção exigirá “uma mudança fundamental nas fases iniciais de projeto, assim como nos processos construtivos, que irá além da simples imitação das tecnologias de construção existentes”.

ESTRUTURA ANTES DA TECNOLOGIA

INFOGRÁFICO CONCEITUAL | Visual desenvolvido para esta edição



Em uma indústria pressionada por margens estreitas e escassez de mão de obra, o caminho para a produtividade e a previsibilidade exige reorganizar o fluxo de trabalho antes de investir em tecnologias de última geração.

A tecnologia sozinha não salvará a engenharia sem processos estruturados

A indústria da engenharia e construção pesada é o motor do desenvolvimento econômico, movimentando investimentos que representam grande parte do PIB global. Apesar de sua relevância, o setor luta contra dores históricas e persistentes: margens de lucro severamente pressionadas, escassez de mão de obra qualificada, baixa produtividade e um índice crônico de estouros de orçamento e atrasos no cronograma.

É notório que o mercado opera sob uma volatilidade que não tolera mais ineficiências. Globalmente, dados indicam que a grande maioria dos megaprojetos de

capital falha em cumprir suas metas originais de custo e prazo, gerando impactos profundos na economia mundial.

Um estudo recente da Deloitte, que ouviu 144 empresas da cadeia de construção brasileira com o apoio de mais de 20 entidades setoriais, quantificou essa fragilidade: a participação da construção civil no PIB brasileiro caiu de 5,3%, em 2010, para 2,6%, em 2021, mais da metade em uma década. Entre as empresas ouvidas pela pesquisa, apenas 41% medem ganhos de produtividade de forma individualizada por projeto, e 16% não medem nada.

Diante desse cenário - e com o advento de tecnologias disruptivas que avançam de forma acelerada, especialmente a Inteligência Artificial - a reação mais comum das empresas tem sido buscar a salvação nas ferramentas digitais. No entanto, a dura realidade do mercado mostra que automatizar um processo ineficiente serve apenas para gerar desperdício em alta velocidade. Além disso, sem uma unidade

de referência comum contra a qual medir, boa parte do mercado toma decisões sobre processos e tecnologias sem saber, de fato, se está ganhando ou perdendo produtividade. Quando os dados de entrada são inconsistentes e os fluxos de trabalho estão desconectados, a digitalização torna-se um custo, não um investimento.

O processo como alicerce da tecnologia

Antes da adoção massiva de tecnologias, é necessário dar um passo atrás e encarar uma verdade desconfortável: a tecnologia é um acelerador, não a solução imediata para problemas estruturais. Se uma obra sofre com falta de materiais na frente de serviço, desenhos desatualizados ou desalinhamento entre engenharia, suprimentos e construção, nenhum software de última geração resolverá o gargalo por si só. Ele apenas dará visibilidade ao caos em tempo real.

Para que a transformação digital de fato impulse a produtividade, as empresas

precisam reorganizar a forma como pensam, planejam e executam seus projetos. É necessário um modelo que garanta a integridade das informações e a sequência lógica das atividades.

Nesse sentido, uma das respostas mais consistentes e maduras da indústria global para essa desorganização estrutural é o Advanced Work Packaging (AWP). Longe de ser um novo software, o AWP é uma metodologia de gestão de projetos que propõe uma mudança profunda de mentalidade e um framework robusto para a estruturação de empreendimentos, planejando-os do fim para o começo, com foco absoluto na construção (construction driven).

O AWP responde diretamente ao problema levantado no início deste artigo. Cada pacote de trabalho definido pela metodologia carrega um escopo, uma sequência e um critério de conclusão padronizados, a unidade de referência comum que falta a mais da metade do mercado para medir produtividade de forma consistente.

Ao invés de permitir que a Engenharia produza documentos de forma isolada e sem seguir a prioridade de suprimentos e da construção, ou que o Suprimento compre equipamentos e materiais com base apenas em custos imediatos, o AWP força todas as disciplinas a trabalharem em prol da sequência lógica de montagem no campo. O objetivo principal é garantir que a força de trabalho na frente de serviço tenha exatamente o que é necessário (desenhos, materiais, ferramentas, acessos e informações), e quando necessário.

Desenvolvido na América do Norte por meio de uma parceria entre o CII (Construction Industry Institute dos EUA) e a COAA (Construction Owners Association of Alberta do Canadá), o AWP tem como princípio básico manter a conclusão do projeto permanentemente no centro das atenções. É olhar para a entrega física final e preparar as etapas anteriores com o máximo de antecedência necessária para viabilizá-la.

A COAA criou inicialmente a metodologia chamada de Workface Planning (WFP) com o objetivo de gerar frentes de construção e montagem livres de restrições. Posteriormente, constatou-se que, por

maior que fosse o esforço no campo, o ganho de produtividade esbarrava em um limite físico. Verificou-se que a produtividade da construção começa muito antes, ainda nas fases de engenharia. Essa evolução, partindo do WFP e olhando para as fases anteriores à construção, deu origem ao AWP como o conhecemos hoje.

Assim, embora a base metodológica seja o Path of Construction (Estratégia de Construção), o AWP, diferentemente do WFP, é aplicável desde as fases mais preliminares do ciclo de vida do empreendimento. Sua adoção é recomendada já na etapa de avaliação técnica das alternativas de projeto (FEL 2 - Front-End Loading ou Concept - Front-End Planning - FEP).[IB1.1]

Para traduzir essa estratégia inicial em realidade, o AWP divide o ciclo de vida do empreendimento em pacotes de trabalho inter-relacionados e altamente gerenciáveis. Essa engrenagem de pacotes é organizada e sequenciada de forma lógica e disciplinada desde as fases iniciais, garantindo que o fluxo de informações, materiais e engenharia estejam disponíveis na data e no local de montagem planejados. É essa estrutura que pavimenta o caminho da previsibilidade, transformando grandes metas contratuais em metas executáveis no dia a dia.

As engrenagens dos pacotes

Antes da adoção massiva de tecnologias, é Deixando a filosofia de lado e entrando na prática, como essa engrenagem funciona? A força do AWP reside em sua hierarquia de pacotes, que quebra a complexidade de um megaprojeto em unidades de trabalho lógicas e gerenciáveis. Vamos detalhar cada uma delas.

- **Construction Work Areas (CWAs), as áreas de trabalho:** O primeiro corte é geográfico dividindo-se o empreendimento em áreas físicas que, de maneira geral, alinham-se às áreas do projeto, que podem ser unidades de uma planta industrial, por exemplo. Nessa fase, desenvolve-se a estratégia de construção por Áreas (PoC 1), coerente com a sequência de implantação. Nesse sentido, as CWAs funcionam como um mapa, definindo em que ordem o projeto será implantado.

- **Construction Work Packages (CWPs), os pacotes de construção:** Dentro de cada CWA, o escopo de construção se subdivide em CWPs: parcelas de trabalho lógicas, mensuráveis e gerenciáveis, organizadas por disciplina (civil, mecânica, tubulação, elétrica, instrumentação, etc), que, em geral, estarão alinhadas 1 para 1 com as atividades do cronograma de nível 3 do projeto. Nesse ponto, o PoC já pode ser detalhando no nível de CWP. Um CWP típico já carrega requisitos de segurança, cronograma, orçamento e qualidade, deixando de ser “um pedaço da obra” e transformando-se em uma unidade de gestão completa, com “dono”, prazo e critério de conclusão. Com data de início e de fim, e responsável definidos o CWP torna-se a unidade de referência que o mercado não tem hoje. Os CWP's serão suportados por EWP's, que são os entregáveis de engenharia, e PWP's, que são materiais e equipamentos necessários aos CWP's.
- **Engineering Work Packages (EWPs), os pacotes de engenharia:** Cada CWP precisa de informações técnicas para suportá-lo: desenhos, memoriais descritivos, especificações técnicas, listas de materiais, etc. Essas informações, organizadas para viabilizar um CWP específico, formam o EWP. A mudança de mentalidade aqui é decisiva. A engenharia tradicional trabalha por disciplina, emitindo documentos conforme sua própria fila de produção avança: um lote de desenhos estruturais, depois um lote de tubulação, sem respeitar a ordem em que a obra ou a área de suprimentos vão precisar dessas informações. O AWP inverte essa lógica: a engenharia passa a emitir envelopes completos de informações, na sequência e quando cada CWP precisa deles. Nem antes, o que desperdiça esforço em algo que ainda não será usado, nem depois, o que trava a obra.

- **Procurement Work Packages (PWPs), os pacotes de suprimentos:** O mesmo raciocínio usado na engenharia vale para as compras. Em vez de agrupar aquisições por tipo de material (comprar de uma vez todas as válvulas do projeto para conseguir o menor preço unitário, por exemplo), o PWP organiza a compra, a fabricação e a entrega dos materiais e equipamentos necessários para um CWP específico. A mudança tem um custo aparente: lotes fracionados, sincronizados com a obra, costumam custar um pouco mais por unidade do que uma compra única. A análise de custo se transforma quando se olha o custo total. O pequeno prêmio pago por um material entregue na hora certa é insignificante perto do custo de manter grandes estoques de equipamentos e materiais, ou uma equipe de construção parada esperando um item comprado fora do prazo, ou, ainda que no prazo, para a área errada.
- **Installation Work Packages (IWPs), os pacotes de instalação:** Os CWPs são finalmente subdivididos em IWP's, que são os pacotes que chegam às mãos daqueles que executam o trabalho em campo: os encarregados e suas equipes. Um IWP reúne o que uma equipe precisa para completar uma tarefa dimensionada, em geral, deve assegurar condições para uma a duas semanas de trabalho, sem interrupção para buscar informação, material ou autorização (livres de quaisquer restrições): desenhos, lista de materiais já separados, ferramentas necessárias, análise de riscos, critérios de conclusão, etc. **A regra é rígida: nenhuma equipe deve ser mobilizada para um IWP com restrição pendente, seja um desenho não aprovado, um material em falta ou uma liberação de acesso não emitida.**

O que importa nessa estrutura não é a existência de cada pacote isolado, mas o encadeamento correto entre eles. O PoC define a sequência. As CWAs recortam essa

sequência em áreas. Os CWPs organizam cada área em parcelas gerenciáveis de construção. Os EWP's e PWP's alimentam cada CWP com a informação e os materiais certos, no momento certo. Os IWP's entregam esse conjunto pronto e sem restrições para quem executa. Quando essa corrente funciona, uma frente de trabalho só chega ao campo depois que a engenharia necessária esteja 100% aprovada e liberada para construção, os materiais estejam 100% disponíveis no canteiro e todas as autorizações necessárias já tenham sido emitidas: um critério que a indústria chama de Liberação Sem Restrição, ou Zero Constraint. É a conexão disciplinada entre os pacotes, não a criação isolada de cada um, que faz do AWP um instrumento prático de produtividade e de previsibilidade.

AWP e o Last Planner System

A corrente descrita acima (PoC, CWAs, CWPs, EWP's, PWP's e IWP's) responde a pergunta estratégica: **O que precisa ser feito, e em que sequência.** Conhecer a sequência certa não garante que as restrições que impedem uma atividade de acontecer sejam removidas a tempo. Um EWP planejado para a semana 10, por exemplo, pode atrasar na prática. Um material vinculado ao PWP certo pode chegar com defeito de fabricação. O AWP define a estratégia e a arquitetura do projeto (o 'o que' e em qual 'sequência'), mas não fornece a disciplina tática para garantir a execução dessa estratégia no campo (o 'como').

O Last Planner System (LPS) veio para preencher essa lacuna, tendo sido desenvolvido dentro do movimento do Lean Construction, se tornou parte de uma constatação simples: **cronogramas de longo prazo ajudam a planejar, mas preveem mal o que vai acontecer na semana seguinte**, porque não antecipam se cada pré-requisito de cada atividade está pronto para sua execução. A resposta do LPS reduz o horizonte da análise e aumenta a disciplina e o controle, pois no lugar de confiar apenas no cronograma mestre, as equipes revisam, semana a semana, uma janela móvel de curto prazo, em geral das seis semanas seguintes: o 6-Week Lookahead (6WLA).

Nessa rotina, cada atividade prevista para as próximas seis semanas passa por uma checagem individual. O desenho de engenharia está aprovado? O material chegou ao canteiro? O acesso está

liberado? A permissão de trabalho foi emitida? Toda restrição identificada ganha um responsável e vira uma pendência a ser resolvida antes que a atividade se aproxime da semana de execução. Se a pendência não for resolvida a tempo, a atividade fica travada e não avança para o planejamento de curto prazo, possibilitando um redirecionamento da equipe para uma frente livre de restrições. Essa disciplina, repetida semana após semana, evita o que acontece nas obras tradicionais: **uma equipe mobilizada no local certo, na data certa, sem conseguir trabalhar porque algo essencial não chegou.** O objetivo, no fim das contas, é maximizar o que é tradicionalmente denominado como "tempo de mão na ferramenta" (tool time), consequentemente melhorando a produtividade no campo.

As três metodologias respondem a perguntas diferentes. O AWP, com sua cadeia de pacotes responde: "O que deve ser feito": define a estratégia e a sequência do empreendimento inteiro. O LPS, por meio do 6WLA, responde "O que pode ser feito": audita, semana a semana, se as condições para executar cada atividade já estão reunidas. O Workface Planning, que gera os IWP's entregues às equipes, responde: "O que será feito": organiza a execução no nível de tarefa individual. Tal análise evidencia que, para o sucesso do empreendimento, as três camadas devem ser aplicadas.

Um Workface Planning aplicado sem que a engenharia e o Suprimentos tenham sido estruturados pelo AWP tende a falhar: por melhor que seja a organização do campo, ela não cria informação nem material que não estejam disponíveis. Um AWP bem desenhado sem uma rotina disciplinada de curto prazo como o LPS corre o risco de identificar restrições tarde demais, com a equipe já mobilizada e parada, gerando ociosidade. A integração das três camadas fecha o ciclo entre o planejamento de longo prazo do empreendimento e a realidade operacional da frente de trabalho.

Essa integração também responde à pergunta sobre como medir a produtividade de forma consistente, e não só projeto a projeto. O Lean Construction contribui aqui com um indicador simples e testado: o PPC (Percent Plan Complete), a proporção de atividades planejadas para a semana que foram, de fato, concluídas conforme planejado. Indicadores tradicionais de avanço físico só olham para trás. O PPC combinado à taxa de remoção de restrições no 6WLA, deixa a liderança do projeto

enxergar, semana a semana, se a capacidade de execução melhora ou piora, e agir antes que o problema apareça no cronograma mestre.

Dados Confiáveis Antes de Qualquer Dashboard

O Path of Construction, a cadeia de pacotes e a disciplina semanal do Last Planner System têm um efeito colateral benéfico, que talvez seja o maior ganho de longo prazo: **à medida que o projeto opera dessa forma, ele passa a gerar um tipo de dado que a maioria das obras nunca produziu, ou seja, um dado estruturado, padronizado e rastreável, nascido no próprio processo de trabalho, não registrado depois em uma planilha.**

Cada EWP tem um status de maturidade, assim como cada PWP tem uma data de disponibilidade rastreada desde a fábrica do fornecedor até o canteiro, e cada IWP tem um critério objetivo de prontidão: livre de restrição ou não. Cada semana de 6WLA gera um PPC. Assim, esse conjunto de informações, gerado pelo próprio processo de trabalho, é a matéria-prima de qualquer iniciativa de digitalização.

A tecnologia não cria dados, ela só organiza, visualiza e projeta o que já existe, assim, automatizar a coleta de um indicador que ninguém mede de forma consistente, ou digitalizar um processo sem unidade de referência comum, transporta o mesmo caos para uma tela mais bonita, em maior velocidade.

Com a base de pacotes definida, cada tecnologia passa a se apoiar na mesma estrutura de CWAs, CWPs e IWPs definidos pelo AWP.

Fica claro que o fato de mais da metade do mercado ainda não medir sua própria produtividade de forma consistente **não é causado pela falta de tecnologia disponível, mas sim pela falta de processos estruturados capazes de dar a essa tecnologia algo confiável para medir.**

Novas Tecnologias: Presente e Futuro

Com a base de pacotes definida e gerando dados confiáveis, a utilização de novas tecnologias passa a ter o céu como limite. A tecnologia deixa de ser uma vitrine de inovações isoladas e passa a atuar em diferentes frentes para alavancar a previsibilidade do projeto.

Essa mesma base de processos estruturados é o que viabiliza a aplicação de

automação avançada e robótica no canteiro, um tema explorado no artigo 'Panorama da Automação e Robótica Aplicada à Construção Civil' desta mesma série de artigos.

O Ecossistema BIM e a Evolução para o Gêmeo Digital

Nesse cenário, o modelo BIM deixa de ser uma representação estática do projeto e torna-se uma ferramenta de simulação. A modelagem 4D constrói a obra em ambiente virtual antes de mobilizar qualquer equipe, testa o raio de giro de um guindaste, a rota de um içamento crítico, a interferência entre duas frentes que no papel pareciam incompatíveis. Com a adição do 5D (custo), o orçamento acompanha esse mesmo dinamismo atrelado aos pacotes de trabalho.

Em estágios mais avançados, esse Ambiente Comum de Dados (CDE, em inglês) evolui para um Gêmeo Digital (Digital Twin). O Gêmeo Digital deixa de ser apenas uma maquete e torna-se uma réplica virtual viva do empreendimento, que garante que engenharia, suprimentos, construção e comissionamento consultem a mesma fonte de dados atualizados, eliminando versões divergentes. Dashboards integrados param de exibir dezenas de indicadores soltos e passam a operar por exceção: **destacam só os pacotes com risco real de atraso nos próximos 30 ou 60 dias e direcionam a atenção da liderança para onde ela gera impacto.**

Captura da Realidade e o Canteiro Conectado

Para que o Gêmeo Digital se mantenha atualizado, o canteiro físico precisa conversar com o ambiente virtual. Aqui podem entrar, por exemplo, os Drones e a Internet das Coisas (IoT). Sensores IoT instalados em equipamentos e materiais críticos rastreiam fisicamente a chegada de um Pacote de Suprimentos (PWP) ao canteiro. Simultaneamente, drones voando ou robôs caminhando pelo campo realizam a captura da realidade (fotogrametria), comparando o avanço físico real com o planejado no modelo 4D, permitindo que a baixa de um Pacote de Instalação (IWP) seja auditada visualmente no modelo BIM, quase em tempo real. Como visão de futuro, tarefas perigosas ou altamente repetitivas podem começar a ser delegadas a robôs, mitigando riscos de segurança, melhorando qualidade e cronograma, e suprimindo, em

parte, o gargalo da escassez de mão de obra. Internacionalmente, por exemplo, epecistas já utilizam robôs em pipe shops, como ganhos em qualidade, tempo e redução de mão de obra.

A Fronteira da Inteligência Artificial: Previsão e Geração

Nesse terreno preparado, a inteligência artificial encontra seu papel: **amplificar o processo, não o substituir.** Assim, alimentada pelo histórico estruturado de pacotes, prazos e desvios, a IA pode, por exemplo, cruzar a tendência de entrega de um fornecedor específico com a maturidade de um pacote e apontar, com antecedência, que aquele EWP ou PWP tem alta probabilidade de atrasar, permitindo uma ação imediata e antecipada sobre a causa antes que ela vire um problema de campo. Contando com um processo estruturado gerando dados confiáveis e tecnologia interpretando esses dados para antecipar riscos, a indústria passa de um modelo de acompanhamento reativo, baseado no que já aconteceu, para um modelo preditivo de gestão, baseado no que está prestes a acontecer. Se o impacto for inevitável, ferramentas avançadas de inteligência artificial generativa aplicada a cronogramas conseguem simular, em minutos, diversos cenários de reprogramação, realocando recursos e restrições para encontrar a melhor rota de mitigação, avaliando impacto em tempo e custos.

Além do planejamento, a IA Generativa e os Agentes de IA passam a atuar como "copilotos" dos engenheiros. Eles podem ler requisitos de uma carta convite, critérios de projeto, sugerir a divisão ideal de pacotes (CWAs / CWPs), redigir minutas de requisições de compra baseados no modelo 3D, ou responder instantaneamente a dúvidas de campo consultando milhares de páginas de normas e especificações em segundos.

Conclusão: Preparando o Terreno para a Produtividade e Previsibilidade

A indústria da engenharia e construção, antes de enfrentar a questão da adoção de novas tecnologias, precisa superar uma encruzilhada estratégica. De um lado, está o modelo operacional reativo, que banalizou atrasos em cronogramas e estouros em orçamentos como "custo do negócio" — e

que se ilude ao tentar resolver problemas crônicos com o caminho aparentemente mais fácil da digitalização. Do outro, está o modelo preditivo, que enxerga a previsibilidade não como uma utopia, mas como uma disciplina de gestão que se constrói na origem do projeto.

gerenciar o passado e começar a construir o futuro?"

Para melhorar, antes de mais nada, é preciso medir, mas sem uma unidade de referência comum, cada projeto vira uma ilha, cada indicador um exercício isolado, e a pergunta mais elementar de gestão (estamos melhorando ou piorando?) fica sem resposta confiável.

O Advanced Work Packaging (AWP), sustentado pela disciplina do Last Planner System (LPS), não é uma nova ferramenta a ser comprada. É a decisão de passar a orquestrar o fluxo de valor, colocando a construção, o momento em que o empreendimento se torna realidade, no centro das decisões desde o Front-End Planning, e traduzindo a estratégia de implantação em uma estrutura de pacotes de trabalho, acompanhada de maneira disciplinada semana a semana, transformando a produtividade de uma percepção subjetiva em um indicador rastreável.

A questão a ser analisada pelos líderes do setor não é se a adoção de novas tecnologias, tais como gêmeos digitais e inteligência artificial, irá transformar o canteiro, mas sim quem estará verdadeiramente preparado para essa transformação. Empresas que constroem hoje sua base de processos estruturados e dados confiáveis não estarão apenas "adotando tecnologia", mas construindo uma vantagem competitiva duradoura, capaz de entregar projetos com margens mais saudáveis, menos riscos e maior confiabilidade para seus clientes.

A jornada para sair da reatividade e entrar na era da produtividade e previsibilidade não começa com um grande investimento em software, mas sim com a decisão executiva de estruturar o trabalho, permitindo medi-lo, para então acelerá-lo com novas tecnologias. A pergunta final não é "qual ferramenta adotar?", mas sim: "Sua organização está pronta para parar de

FUNDAMENTOS DA COLABORAÇÃO DIGITAL

03 | FUNDAMENTOS DA COLABORAÇÃO DIGITAL

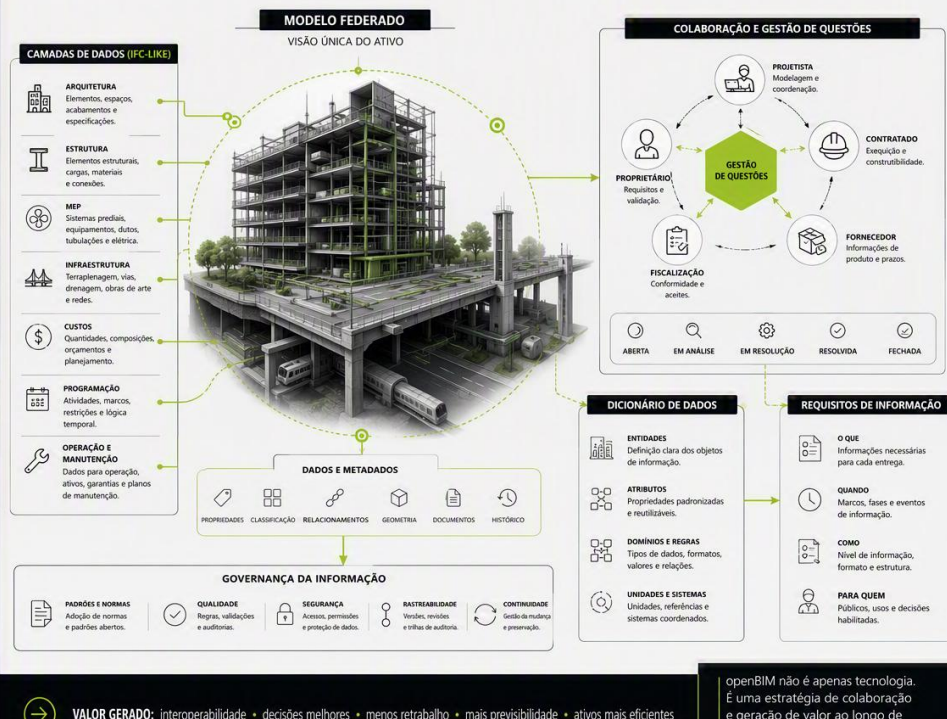
openBIM e colaboração digital

Modelos abertos, dados estruturados e processos colaborativos habilitam interoperabilidade, transparência e melhor tomada de decisão em todo o ciclo de vida do ativo.

PRINCÍPIOS QUE SUSTENTAM

- ABERTO**
Padrões e dados acessíveis e interoperáveis.
- COLABORATIVO**
Papéis claros, comunicação contínua e evidências compartilhadas.
- CONFIÁVEL**
Dados com qualidade, rastreabilidade e governança.

A colaboração digital eficaz conecta pessoas, processos e dados em um ambiente comum, com linguagem única e visibilidade de ponta a ponta. O openBIM viabiliza essa conexão por meio de padrões abertos e estruturas de informação consistentes.



openBIM não é apenas tecnologia. É uma estratégia de colaboração e geração de valor ao longo de todo o ciclo de vida do ativo.

INFOGRÁFICO CONCEITUAL | Visual desenvolvido para esta edição

Compreendido o contexto histórico e a trajetória evolutiva da automação na construção, torna-se evidente que o progresso tecnológico depende de uma base informacional sólida. Esta seção detalha os pilares que sustentam a colaboração digital eficaz, iniciando pela governança de dados como pré-requisito fundamental e aprofundando-se nos padrões abertos que garantem a interoperabilidade e a longevidade da informação ao longo do ciclo de vida dos ativos.

Dados como alicerces da transformação digital

Qualidade, governança, padronização e interoperabilidade de dados são pré-requisitos para que as tecnologias gerem valor. Sem uma base robusta, elas podem ampliar problemas em vez de resolvê-los. A governança permite maximizar seu potencial e entregar os resultados esperados.

OpenBIM: benefícios dos padrões abertos na gestão da informação

Sergio Scheer

A adoção do OpenBIM é estratégica para garantir que as informações sobre ativos construídos estejam disponíveis, verificáveis e úteis em todas as etapas – planejamento, projeto, construção, operação, manutenção e descomissionamento. Ao se afastar de trocas proprietárias para processos abertos, a indústria remove as barreiras entre empresas, disciplinas e plataformas tecnológicas, melhorando a colaboração e a qualidade das decisões.

openBIM e gestão da informação

openBIM é uma abordagem colaborativa e independente de fornecedores de software para o compartilhamento, uso, gestão e

armazenamento de dados digitais no ambiente construído. Não se trata apenas de permitir que diferentes programas "abram" o mesmo arquivo. De forma mais ampla, visa fomentar fluxos de informação flexíveis, transparentes e interoperáveis que indivíduos possam gerar, usar, consultar, validar e reutilizar de forma confiável, sem recorrer a uma tecnologia específica.

A buildingSMART International (bSI) define o openBIM como um processo colaborativo e neutro em relação a fornecedores, no qual as informações do projeto são compartilhadas e a colaboração contínua é alcançada. Em negócios tradicionais, arquitetos, engenheiros, construtores, fabricantes, inspetores, proprietários e operadores trabalham em diferentes sistemas com seus próprios requisitos de classificação, codificação e armazenamento. Como resultado, as informações podem ser duplicadas, perdidas, mal interpretadas ou enviadas tardiamente.

O problema é ainda pior quando o ativo está na fase de operação: dados gerados durante o projeto e construção que poderiam ajudar a organização na gestão da manutenção, gestão de ativos, inspeções, renovação ou investimento de um ativo podem ficar dispersos em arquivos não integrados ou não atualizados. A gestão da informação baseada em openBIM visa remediar essa fragmentação. Afirma que os dados precisam ser organizados de forma que possam ser transferidos de ferramenta para ferramenta e de organização para organização para ter significado. Por exemplo, um trocador de calor não pode ser transferido apenas como uma geometria tridimensional. Ele deve ser mantido conforme necessário para o caso de uso, incluindo dados de identificação, localização, tipo, dimensões, material, classificação, desempenho, fabricante, requisitos de manutenção e relação com o ambiente e sistema de construção e montagem. No final do dia, a informação deixa de ser apenas uma imagem representativa do projeto e se torna um recurso vivo para o ciclo de vida do ativo.

Essa visão é especialmente aplicável em empreendimentos complexos, grandes e de longo prazo, como instalações industriais, barragens, aeroportos, ferrovias, rodovias, obras de arte especiais, hospitais e edifícios públicos. Nesses casos, a informação precisa passar por várias fases contratuais, equipes, sistemas e décadas de uso. Padrões abertos mantêm o acesso aos dados quando uma empresa, contrato ou tecnologia não faz mais parte do empreendimento, garantindo que o acesso à informação seja preservado e os dados possam ser armazenados e recuperados no sistema.

buildingSMART e padrões abertos

A buildingSMART International (bSI) é a organização internacional que cria e mantém padrões e soluções para interoperabilidade na indústria de ativos construídos. Seu objetivo é desenvolver consenso entre proprietários, projetistas, construtores, operadores, governos, provedores de tecnologia e outros atores do setor para não apenas usar formatos fechados, mas também apresentar informações em forma digital ao mesmo tempo.

Entre os padrões mantidos pela bSI estão o IFC, BIM Collaboration Format (BCF),

buildingSMART Data Dictionary (bSDD) e Information Delivery Specification (IDS).

O IFC ou Industry Foundation Classes é o esquema de dados aberto mais central para representar os elementos físicos e funcionais de um edifício ou infraestrutura em forma digital. Inclui paredes, vigas, trilhos, ferramentas, equipamentos, sistemas elétricos, espaços, materiais, tarefas e componentes de manutenção. O IFC não é apenas um formato para exportar dados, mas uma estrutura semântica para garantir que a informação seja compreensível para diferentes aplicações e partes interessadas. A buildingSMART afirma que o IFC é um conjunto de descrições digitais padronizadas para a indústria de ativos construídos e é uma norma internacional mantida pela ISO.

O BCF ou BIM Collaboration Format permite discussões estruturadas sobre questões que precisam ser abordadas e decisões a serem tomadas para que o modelo aconteça de forma estruturada. Em vez de enviar imagens, e-mails genéricos ou arquivos proprietários para apontar uma interferência, não conformidade ou solicitação de mudança, o BCF lista o assunto, partes responsáveis, prazo, comentários, a visualização associada e referências aos componentes IFC envolvidos. Dessa forma, um evento observado em uma ferramenta de coordenação pode ser analisado e abordado no software de autoria de outra disciplina sem a necessidade de circular repetidamente o modelo completo. O BCF melhora a coordenação independentemente do software em termos de custo, falha e prazo, e torna a comunicação muito mais previsível, transparente e assertiva.

Outro componente importante é o bSDD (buildingSMART Data Dictionary), que permite uma linguagem mais padronizada para descrever termos, classificações e propriedades. Na prática, ajuda diferentes organizações a usar uma linguagem comum para descrever objetos e requisitos de informação. Isso é importante, pois a mesma propriedade pode receber nomes diferentes de disciplinas, empresas ou países, dificultando consultas, automações e integrações. Um dicionário de dados ajuda a reduzir ambiguidades e vincula vocabulários locais ou corporativos a conceitos comuns.

O IDS ou Information Delivery Specification representa um avanço importante para a gestão da qualidade da informação. É um padrão que descreve como a troca de

dados deve ocorrer de forma que possa ser entendida por pessoas e computadores. Com um IDS, o contratante ou gestor de ativos pode especificar quais objetos, classificações, materiais, propriedades, valores e unidades devem estar em uma entrega IFC. O IDS 1.0 tornou-se o padrão final da buildingSMART em junho de 2024, para aumentar a clareza, consistência e confiança na entrega de informações.

Benefícios para projetos e ativos

O primeiro grande benefício do openBIM é a interoperabilidade. Sem a necessidade de toda a cadeia de produção em uma única plataforma, a organização pode estabelecer requisitos comuns de informação e padrões de entrega. Isso amplia a liberdade tecnológica das equipes, incentiva a cooperação de fornecedores especializados e reduz o risco de depender de uma única empresa de software. A seleção de parceiros deve ser baseada na competência técnica, habilidades de entrega para o projeto e não na ferramenta que estão usando.

O segundo benefício é aumentar a qualidade e a confiabilidade dos dados. Quando os requisitos de informação são definidos para o processo de modelagem e o modelo é produzido com base em decisões humanas reais, evita-se tanto a ausência de informações críticas quanto o excesso de informações irrelevantes. O IDS, por exemplo, pode ser usado para traduzir requisitos contratuais em regras verificáveis: ele pode verificar automaticamente se o equipamento possui códigos de ativos, se os ambientes têm classificação funcional, se os elementos ferroviários estão em conformidade com inspeções ou se os materiais atendem às propriedades exigidas para um processo específico.

O terceiro benefício é o desenvolvimento da coordenação multidisciplinar. Modelos IFC federados permitem que as disciplinas de arquitetura, estruturas, instalações, infraestrutura, geotecnia, orçamento, planejamento e operação vejam e analisem o projeto a partir de uma perspectiva compartilhada. O BCF organiza a comunicação sobre conflitos, decisões e questões pendentes para manter o problema e o modelo juntos. Isso reduz a comunicação informal, ajuda na rastreabilidade e esclarece a definição de responsabilidades. Existem também benefícios econômicos e operacionais. Melhor comunicação no processo de fluxo

de informações também reduz retrabalho, inconsistências, atrasos de compatibilidade e custos associados a erros de coordenação.

O modelo e seus bancos de dados apoiarão o inventário de ativos, planejamento de manutenção, inspeções, gestão de garantias, substituição de componentes, análise de desempenho e preparação de intervenções de maneira operacional. A buildingSMART associa o BCF a benefícios como tempos de ciclo mais curtos, menores custos de falhas e melhor previsibilidade dos fluxos de trabalho. E os padrões abertos também são bons para a longevidade da informação. Um ativo pode permanecer em uso por décadas, mas software, versões, contratos e fornecedores estão sempre mudando. Ao armazenar entregas-chave em formatos e estruturas abertas, a empresa pode consultar e reutilizar informações no futuro. Isso é especialmente importante para gestores públicos e proprietários de grandes portfólios, que precisam proteger o valor informacional produzido com recursos públicos ou investimentos de longo prazo.

Objetivos e aplicação prática

O openBIM deve ser estruturado em torno de objetivos de gestão da informação, não na necessidade de exportar um arquivo IFC no final do projeto. A questão é garantir que cada informação esteja disponível e que todas as informações estejam prontas para serem usadas quando uma decisão precisar ser tomada. Isso significa comunicar claramente os usos pretendidos para essas informações: coordenação de projetos, quantidades, planejamento, licenciamento, verificação de requisitos, orçamento, comissionamento, entrega de ativos, manutenção ou gestão de riscos etc. Na prática, a organização contratante deve começar avaliando quais necessidades de informação possui. Em seguida, deve definir requisitos de acordo com o uso pretendido, definindo responsabilidades, marcos de entrega, classificações, propriedades mínimas, critérios de validação e aprovação. Tais requisitos podem ser delineados em documentos de gestão, planos de execução BIM, matrizes de responsabilidade e especificações IDS. O IDS é particularmente útil porque é uma espécie de contrato digital para a entrega da informação correta: ele descreve o que deve ser entregue e pode ser usado para

verificar se o modelo IFC está atendendo ao que foi solicitado.

Um exemplo simples é a entrega de informações para a manutenção de sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC) em uma instalação complexa como um data-center. Não basta exportar a geometria de um equipamento. O gestor pode exigir que cada equipamento tenha um identificador único, localização, fabricante, modelo, número de série, potência, data de instalação, frequência de inspeção, código de ativo e link para manuais técnicos. Esses requisitos podem ser definidos e verificados em um IDS antes da entrega. Se algum equipamento não tiver código de ativo ou informações de manutenção, a não conformidade é identificada antes da transferência para o sistema de gestão de ativos.

Assim, os padrões abertos são cruciais para ajudar a transformar modelos digitais em informações efetivamente governáveis, reutilizáveis e duráveis, com cooperação mais transparente entre agentes e qualidade das entregas e gestão de ativos. O openBIM, além dos padrões buildingSMART, pode permitir uma colaboração mais transparente entre agentes, melhor qualidade das entregas e gestão de ativos para todo o ciclo de vida do ativo. Na verdade, seu valor não está apenas na troca de arquivos, mas também em construir uma linguagem comum para que dados confiáveis acompanhem o ativo desde a concepção até a operação..

O ECOSSISTEMA TECNOLÓGICO INTEGRADO

04 | CAPÍTULO ECOSSISTEMA TECNOLÓGICO INTEGRADO

Um ecossistema integrado conecta dados, ativos e pessoas ao longo de todo o ciclo de projetos de capital.

A integração entre tecnologias cria um ambiente inteligente, interoperável e seguro, capaz de transformar informação em decisão e execução com precisão.



INTELIGÊNCIA DE DECISÃO

IA, analytics avançado e agentes autônomos geram insights preditivos, recomendações e otimização contínua de portfólio, projetos e operações.



BIM E DIGITAL TWIN

Modelos federados e gêmeos digitais integram engenharia, planejamento, custos e operação, permitindo simular cenários e antecipar impactos.



DISPOSITIVOS INTELIGENTES

Sensores IoT, drones, equipamentos conectados e robôs coletam dados em tempo real e executam tarefas com segurança e precisão.



INFRAESTRUTURA E CONECTIVIDADE

Nuvem, edge, redes de alta performance e padrões abertos garantem escalabilidade, disponibilidade, interoperabilidade e governança de dados.



Com os fundamentos da colaboração e da gestão da informação estabelecidos através de padrões abertos, o próximo passo é analisar o ecossistema de tecnologias que consomem e enriquecem esses dados. Esta seção explora a arquitetura tecnológica integrada, desde a infraestrutura de conectividade que forma a sua base, passando pelos dispositivos de captura da realidade, até as camadas avançadas de simulação e inteligência artificial que transformam dados brutos em inteligência operacional.

Da infraestrutura conectada à inteligência operacional

Nenhuma tecnologia gera valor isoladamente. A verdadeira questão não é quais tecnologias adotar, mas como criar a infraestrutura capaz de conectá-las e transformá-las em inteligência operacional. A evolução da engenharia está cada vez mais associada à capacidade de capturar,

integrar e converter dados em decisões.

A infraestrutura conectada: a primeira camada dessa transformação é a infraestrutura digital

Computação em nuvem, 5G e edge computing: a computação em nuvem fornece escalabilidade e integração. Redes de alta performance, como 5G e a edge computing, garantem que informações críticas circulem com segurança e baixa latência, aproximando o processamento da operação e viabilizando casos de uso como equipamentos autônomos e monitoramento remoto.

Dos dados à visão em tempo real

IoT, Drones e Robótica: Sensores IoT, drones, câmeras inteligentes e etiquetas RFID funcionam como os "sentidos digitais" do empreendimento. Eles representam a ponte entre o ambiente físico e o digital, sendo responsáveis pela captura contínua de dados de campo sobre avanço físico, produtividade, segurança e condições

ambientais, transformando o canteiro de obras em uma fonte contínua de informações.

Do BIM ao gêmeo digital

Quando conectados a uma infraestrutura robusta, os dados capturados deixam de ser registros isolados. Enquanto o BIM representa a visão de projeto, o **Gêmeo Digital** incorpora o comportamento real do ativo por meio da integração contínua com esses dados operacionais. Essa combinação permite simular cenários, antecipar falhas e otimizar a manutenção, conectando planejamento, construção e operação em uma visão integrada.

Inteligência artificial e decisões aumentadas

A **Inteligência Artificial (IA)** surge como uma camada de valor sobre essa infraestrutura conectada. Seu papel não é substituir especialistas, mas ampliar sua capacidade analítica. Modelos avançados conseguem identificar padrões invisíveis, automatizar atividades, apoiar previsões de

cronograma e detectar desvios de custo. Em projetos de capital, sua aplicação evolui de atividades administrativas para modelos capazes de antecipar riscos e otimizar processos complexos.

O FATOR HUMANO E A CAPACITAÇÃO

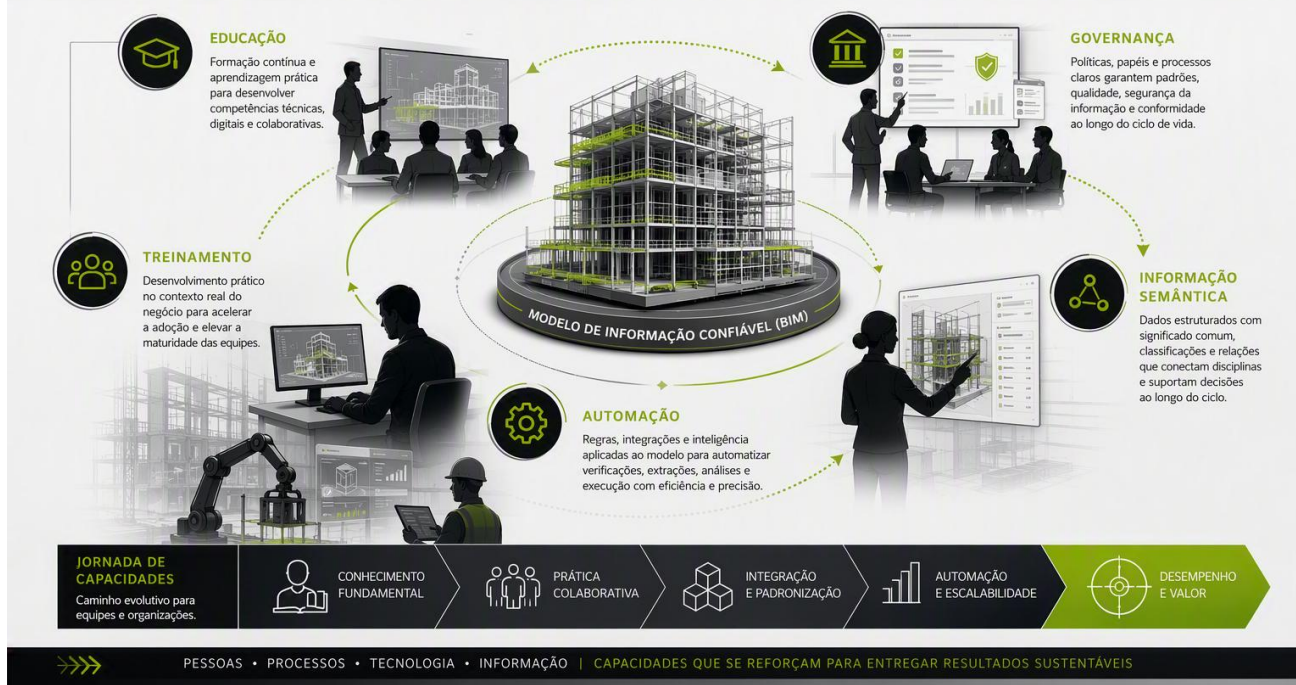
CAPÍTULO

05

Fator humano e capacitação

PESSOAS PREPARAM E SUSTENTAM A TRANSFORMAÇÃO

Capacidades, governança e informação semântica estruturam o uso do BIM e viabilizam a automação com confiabilidade e geração de valor.



INFOGRÁFICO CONCEITUAL | Visual desenvolvido para esta edição

A implementação de um ecossistema tecnológico avançado não garante a geração de valor. O sucesso da transformação digital é, em última instância, determinado pela capacidade das equipes de utilizar essas ferramentas de forma adequada e estratégica. Esta seção aborda o componente humano, um pilar crítico para o processo, detalhando a importância da capacitação, da educação e do desenvolvimento de novas competências para navegar no novo paradigma digital da construção.

Capacitação: o componente indispensável para o sucesso do BIM

Eduardo Toledo Santos

Uma organização pode adquirir a versão mais recente das melhores

ferramentas BIM disponíveis no mercado, estabelecer uma infraestrutura tecnológica sofisticada e elaborar normas, procedimentos e Planos de Execução BIM extremamente detalhados. Ainda assim, sua implementação BIM pode fracassar. Tecnologia e políticas são componentes indispensáveis da transformação digital da construção, mas ambos dependem de um terceiro elemento para produzir resultados: **peças capacitadas para utilizá-los adequadamente.**

O exemplo mais simples é também o mais evidente. De nada adianta dispor de um software BIM extremamente poderoso se seus usuários conhecem apenas uma pequena parcela de seus recursos ou os utilizam de forma inadequada. Da mesma maneira, pouco valor terá um Plano de Execução BIM (BEP) cuidadosamente elaborado

se os profissionais envolvidos no empreendimento não o conhecem, não o consultam ou não compreendem suficientemente seu conteúdo para aplicá-lo no trabalho cotidiano. Mais do que conhecer o BEP, é necessário compreender a importância de seguir rigorosamente os procedimentos e convenções nele estabelecidos. Muitas vezes, pequenas negligências são tratadas como irrelevantes porque a informação continua compreensível para uma pessoa. Entretanto, quando seu processamento é realizado por computadores, a situação é diferente: se a informação não estiver estruturada conforme o previsto, o software pode não conseguir interpretá-la corretamente, comprometendo fluxos automatizados e os usos posteriores dos modelos.

A capacitação deve, portanto, ser considerada um dos pilares da implementação BIM. A tecnologia fornece os meios; normas, padrões e processos estabelecem as regras e organizam o trabalho, mas são as pessoas que transformam esses recursos em informação útil e em melhores decisões para o empreendimento.

Treinamento e educação

Nesse contexto, é importante distinguir dois componentes complementares da capacitação: **treinamento e educação**.

O treinamento está normalmente associado ao desenvolvimento de habilidades: aprender a utilizar uma ferramenta de autoria BIM, configurar uma verificação de modelos, publicar informações em um ambiente comum de dados ou executar um procedimento definido no BEP. Esse aprendizado é indispensável e constitui, para muitos profissionais e organizações, a porta de entrada para o BIM.

Mas saber executar comandos e seguir procedimentos não é suficiente. É preciso também compreender os conceitos que fundamentam essas atividades. O treinamento tende a responder principalmente ao “**como fazer**”; a educação precisa também responder ao “**o que fazer**”, “**por que fazer**” e “**para que fazer**”.

Essa distinção é importante quando tratamos de competência profissional. Entendida como a integração de **conhecimentos, habilidades e atitudes**, a competência vai muito além do domínio operacional de uma ferramenta.

Um profissional pode ser extremamente hábil no uso de um software de autoria BIM e, ainda assim, produzir um modelo inadequado às finalidades a que se destina. Um exemplo particularmente relevante é a perda da **semântica** da informação. Não basta que um objeto tenha a geometria correta e pareça visualmente uma porta, uma parede ou um equipamento. É preciso representá-lo utilizando as entidades adequadas, as relações pertinentes e, sempre que possível, atributos e propriedades já previstos nos

esquemas e padrões de informação, em vez de criar arbitrariamente novas formas de representar conceitos existentes.

Isso exige compreensão conceitual, e não apenas treinamento no uso da ferramenta.

Visualização e automação

Essa questão fica mais clara se considerarmos que os diferentes usos do BIM podem ser relacionados, em última instância, a duas grandes finalidades: **visualização e automação**.

A visualização é dirigida principalmente ao ser humano. Temos grande capacidade de interpretar formas, reconhecer objetos e inferir significados, mesmo quando eles não estão explicitamente representados. Ao olhar um modelo, conseguimos reconhecer uma porta mesmo que ela tenha sido modelada como um objeto genérico.

A automação, por outro lado, é dirigida à máquina. Para selecionar, classificar e processar automaticamente os componentes de um modelo, o computador precisa encontrar seu significado expresso de forma computável. **É a semântica que permite à máquina interpretar o conteúdo do modelo.**

Grande parte dos benefícios do BIM depende justamente dessa capacidade. Extração automática de quantidades, geração de documentação, verificações de requisitos, planejamento, análises de desempenho e muitas outras aplicações exigem que os objetos e suas características possam ser identificados e interpretados pelos softwares. Até mesmo a detecção de interferências, essencialmente geométrica, torna-se mais eficaz quando o sistema consegue distinguir diferentes classes de objetos, sistemas e situações.

Um modelo semanticamente pobre pode, portanto, ser perfeitamente compreensível para uma pessoa diante da tela e, ao mesmo tempo, pouco aproveitável para processamento computacional. Preserva-se a visualização, mas perde-se uma das maiores potencialidades do BIM: **a automação baseada em informação estruturada e computável.**

É por isso que não basta formar bons operadores de softwares BIM. Precisamos formar profissionais capazes de **produzir e gerir informação digital com significado**, compreendendo as consequências de suas decisões de modelagem para os usos posteriores dessa informação.

Capacitação na Estratégia BIM BR

A importância da capacitação já era reconhecida na primeira Estratégia BIM BR. Em 2018, um de seus nove objetivos estratégicos era justamente “**estimular a capacitação em BIM**”. Entre as ações associadas estavam estabelecer objetivos de aprendizagem e competências BIM para diferentes níveis de atuação, capacitar gestores e servidores públicos, ampliar a inserção do BIM nos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia e Arquitetura e estimular a certificação profissional.

A **Nova Estratégia BIM BR**, instituída pelo Decreto nº 11.888, de janeiro de 2024, mantém e amplia essa preocupação. Entre seus objetivos está “estimular a capacitação e a formação profissional em BIM”.

O Plano de Trabalho 2025–2027 atribui à questão um eixo próprio: **Eixo B — Capacitação e Formação Profissional em BIM**. Entre suas iniciativas estão incentivar a atualização das matrizes curriculares de cursos de Arquitetura, Engenharia e Técnico em Edificações, apoiar a criação de Células BIM e laboratórios de ensino e pesquisa, capacitar agentes públicos e apoiar a formação continuada dos profissionais que já atuam no mercado.

Essa abordagem é particularmente importante porque a disseminação do BIM não depende apenas da formação das novas gerações. Existe um enorme contingente de arquitetos, engenheiros, técnicos e gestores já atuantes que precisa desenvolver novas competências ao longo da carreira. E isso leva a uma pergunta essencial: **quais competências são necessárias para desempenhar adequadamente cada função em um processo BIM?**

Matriz Brasileira de Competências BIM

Foi para contribuir com essa resposta que o BIM Fórum Brasil desenvolveu a **Matriz Brasileira de Competências BIM**. A Matriz busca estabelecer uma referência comum sobre as competências requeridas para diferentes funções profissionais e foi concebida para três aplicações principais: **capacitação, certificação e contratação**.

Na **capacitação**, ela permite mudar o ponto de partida utilizado na concepção de cursos. Em vez de começar perguntando quais conteúdos serão ensinados, pode-se primeiro definir para quais funções se pretende formar o aluno e, a partir daí, identificar as competências que precisam ser desenvolvidas. A Matriz pode orientar cursos técnicos, de graduação, aperfeiçoamento, especialização e pós-graduação, respeitando as características e limitações de cada formação. Ela trata especificamente das competências BIM, evidentemente sem pretender abranger todas as demais competências necessárias ao exercício de cada profissão.

Na **certificação**, a Matriz pode fornecer uma referência para avaliar aquilo que o profissional efetivamente sabe e é capaz de fazer, independentemente de essas competências terem sido adquiridas na educação formal, em cursos de capacitação ou pela experiência profissional.

E, na **contratação**, pode tornar mais precisa a definição dos perfis procurados. Expressões como “conhecimentos de BIM”, “experiência em BIM” ou mesmo títulos como “Coordenador BIM” e “Gerente BIM”, isoladamente, dizem pouco sobre aquilo que se espera concretamente de uma pessoa. Uma referência baseada em competências ajuda a especificar melhor esses requisitos e, conseqüentemente, a selecionar profissionais mais adequados às funções que deverão desempenhar.

Transformar tecnologia em resultado

As tecnologias BIM continuarão evoluindo, e os profissionais continuarão necessitando de

treinamento para utilizá-las. Mas ferramentas mudam. Os fundamentos que permitem produzir e gerir informação de qualidade permanecem.

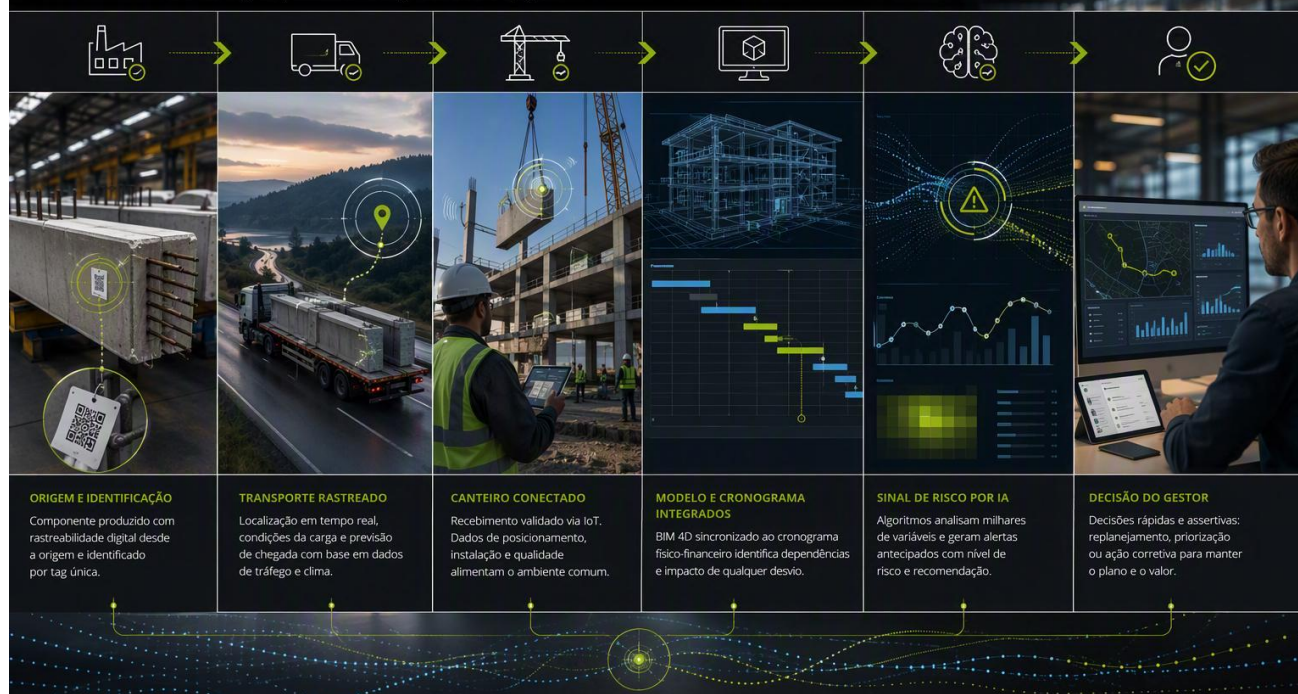
Compreender semântica, interoperabilidade, requisitos de informação e processos de gestão da informação permite ao profissional não apenas utilizar melhor a ferramenta disponível hoje, mas também adaptar-se às que virão. Mais importante: permite produzir modelos que possam ser utilizados não apenas por pessoas, para visualização e tomada de decisão, mas também por máquinas, para automatizar tarefas.

Por isso, tecnologia, políticas e capacitação precisam avançar conjuntamente. **Tecnologia sem competência é recurso subutilizado. Política sem competência é procedimento não aplicado.** E um modelo que apenas pode ser visto explora somente parte do potencial do BIM. Quando seu conteúdo também pode ser interpretado computacionalmente, abre-se o caminho para a automação.

A Nova Estratégia BIM BR reconhece a capacitação como parte essencial desse processo. A Matriz Brasileira de Competências BIM oferece um instrumento para transformar essa diretriz em ações concretas de formação, certificação e contratação. O desafio agora é utilizá-la para formar profissionais não apenas capazes de operar ferramentas, mas competentes para produzir, utilizar e gerir a informação que sustenta a transformação digital da construção.

Inteligência operacional que antecipa e evita atrasos de materiais

Da origem do componente à decisão do gestor: dados conectados, modelos integrados e IA trabalhando juntos para manter o cronograma e o valor do projeto.



INFOGRÁFICO CONCEITUAL | Visual desenvolvido para esta edição

Após a análise dos contextos histórico, tecnológico e humano, esta seção final sintetiza os conceitos apresentados por meio de uma aplicação prática. Demonstra-se como a integração entre tecnologia, processos e pessoas resulta em inteligência operacional, e conclui-se com uma reflexão estratégica sobre o futuro da engenharia e construção na era digital.

Inteligência operacional em ação: conectando tecnologia, processos e valor

A tecnologia automatiza processos, mas não os corrige. Infraestrutura, conectividade e inteligência artificial não são suficientes se os processos não estão otimizados. Metodologias

como AWP (Advanced Work Packaging), VDC (Virtual Design and Construction) e Lean Construction são potencializadas por este ecossistema, transformando dados em execução eficiente.

Um exemplo prático de "inteligência operacional" demonstra essa sinergia no cenário de "prevenção de atraso por falha na logística de materiais":

- **Problema típico:** um componente crítico não chega ao canteiro no prazo, causando um efeito cascata no cronograma.
- **Solução integrada:**
 - a) **BIM/gêmeo digital:** o modelo contém informações relacionadas à necessidade e à data de instalação do componente.

- b) **IoT/RFID:** etiquetas permitem o rastreamento do material em tempo real desde o fornecedor.
- c) **Conectividade:** a informação de localização é transmitida continuamente para uma plataforma central.
- d) **IA:** um algoritmo detecta um desvio na rota, cruza a informação com o cronograma baseado em AWP e prevê o impacto na frente de trabalho com horas ou dias de antecedência.
- e) **Decisão aumentada:** o sistema alerta o gestor, que pode acionar um plano de contingência antes que o problema se materialize no canteiro.

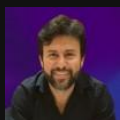
As organizações líderes compreendem que a discussão não deve começar pela tecnologia, mas pelos resultados desejados. A pergunta correta não é "onde implantar 5G ou IA?", mas "quais decisões precisam ser aceleradas e quais riscos precisam ser reduzidos?". Quando infraestrutura digital, conectividade, dados e inteligência trabalham de forma integrada, o projeto deixa de ser apenas executado e passa a ser continuamente compreendido, otimizado e antecipado. Em um setor historicamente marcado por atrasos e baixa previsibilidade, surge a possibilidade de transformar ativos físicos em ecossistemas vivos de informação.

A resposta a essa questão determinará a relevância e a competitividade das organizações no futuro próximo. A transformação digital transcendeu o status de tendência para se consolidar como um imperativo estratégico. A integração de infraestrutura, dados, processos e competências não apenas otimiza a execução de projetos, mas redefine a própria natureza da engenharia, transformando-a de uma disciplina focada na entrega de ativos físicos para uma de gestão contínua de ecossistemas vivos de informação, capazes de se adaptar, aprender e otimizar ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Especialistas e curadoria

**Adriana Pinaffo**

Gerente Corporativa da Qualidade / SGI na MID

**Cristiano Silva**

BIM Manager na OEC

**Eduardo Toledo Santos**

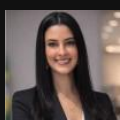
Professor e pesquisador na USP

**Fabiano Rogerio Corrêa**

Professor e pesquisador na USP

**Ibirajara Braúna**

Gerente de Engenharia na OEC

**Manuela Ferraz**

Diretora Institucional na GP Consultoria e Engenharia

**Maria Michelin**

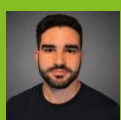
Diretora Jurídica na ABEMI

**Marcelo Vilela**

Gerente Corporativo de Suprimentos na Montcalm Montagens Industriais

**Maurício Godoy**

Diretor do ProEC 4.0

**Samuel Marcussi**

Consultor na Deloitte

**Sergio Scheer**

Professor e pesquisador na UFPR

**Wandre Cunha**

Consultor Sênior na Deloitte



A Deloitte refere-se a uma ou mais empresas da Deloitte Touche Tohmatsu Limited (“DTTL”), sua rede global de firmas-membro e suas entidades relacionadas (coletivamente, a “organização Deloitte”). A DTTL (também chamada de “Deloitte Global”) e cada uma de suas firmas-membro e entidades relacionadas são legalmente separadas e independentes, que não podem se obrigar ou se vincular a terceiros. A DTTL, cada firma-membro da DTTL e cada entidade relacionada são responsáveis apenas por seus próprios atos e omissões, e não entre si. A DTTL não fornece serviços para clientes. Por favor, consulte www.deloitte.com/about

A Deloitte fornece serviços de auditoria e asseguração, consultoria tributária, consultoria empresarial, assessoria financeira e consultoria em gestão de riscos para quase 90% das organizações da lista da Fortune Global 500® e milhares de outras empresas. Nossas pessoas proporcionam resultados mensuráveis e duradouros para ajudar a reforçar a confiança pública nos mercados de capitais e permitir aos clientes transformar e prosperar, e lideram o caminho para uma economia mais forte, uma sociedade mais equitativa e um mundo sustentável. Com base nos seus mais de 175 anos de história, a Deloitte abrange mais de 150 países e territórios. Saiba como os cerca de 457 mil profissionais da Deloitte em todo o mundo causam um impacto importante em www.deloitte.com.

© 2026. Para mais informações, contate a Deloitte Global