



# Construção 4.0: Integração de Tecnologias Espaciais, Building Information Modeling (BIM), Internet of Things (IoT) e Inteligência Artificial (AI)

na Gestão Contratual e no Monitoramento de Obras de Infraestrutura

*Ana Cristina Galhego Rosa*

Advogada Internacional | Direito Espacial, Governança Tecnológica e Infraestrutura  
Empreendedora no Setor Espacial - DIPTERON UG

Instituto de Engenharia – São Paulo

Sobre a Palestrante

# Direito Espacial aplicado à Infraestrutura



Atuação em consultoria estratégica para governos, seguradoras e atores do setor de infraestrutura, com foco na intersecção entre tecnologias espaciais, engenharia e governança contratual.

→ **Direito Espacial Internacional**  
Regulação de satélites, dados de observação da terra e responsabilidade civil



**Consultoria para Infraestrutura**  
Governos, seguradoras, construtoras e financiadores de grandes projetos

→ **Gestão Contratual Tecnológica**

.....



# O Diagnóstico Global da Infraestrutura

98%

Acima do Prazo

Dos megaprojetos globais entregues com atrasos significativos

80%

Estouro de Budget

Dos projetos ultrapassam o orçamento original contratado

\$87B

Em Disputas

Valor médio global anual em litígios em construção e infraestrutura

45%

Sem dados

Das obras carecem de monitoramento contínuo e estruturado de campo

# Desafios Globais da Infraestrutura

## Atrasos Crônicos

Projetos globais excedem prazo em média **20%** acima do cronograma original.

## Estouros de Orçamento

Grandes obras ultrapassam o orçamento em **45% a 80%** dos casos.

## Disputas Contratuais

Litígios arbitrais em infraestrutura crescem **17% ao ano** globalmente.

## Assimetria de Informação

Dados fragmentados entre contratante, contratada e supervisora criam lacunas críticas.

## Monitoramento Limitado

Inspeções manuais periódicas não detectam riscos geotécnicos e estruturais em tempo real.



# Como as grandes obras serão geridas na próxima década?

**A infraestrutura moderna está conectada ao espaço. Satélites, sensores e dados digitais redefinem como projetos são monitorados, geridos e juridicamente documentados.**



# O que é a Construção 4.0?

A Construção 4.0 representa a convergência da engenharia civil com as tecnologias da Quarta Revolução Industrial – integrando dados, automação, sensoriamento remoto, geolocalização e inteligência artificial para transformar a forma como as obras são projetadas, executadas e gerenciadas.

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

# Construção 4.0



## Digital Twin

Gêmeo digital do projeto atualizado em tempo real com dados de campo.



## Automação

Equipamentos autônomos, impressão 3D e robótica integrada ao canteiro.



## Análise de Dados

Big Data e AI processando milhões de pontos de dado por obra por dia.



## Monitoramento Remoto

Vigilância contínua por satélites, drones e sensores distribuídos.



# Convergência Tecnológica na Infraestrutura

- Tecnologias espaciais (satélites SAR e GNSS)
- BIM (Modelo da Informação da Construção)
- Internet das Coisas (IoT)
- Inteligência Artificial (IA)



# Tecnologias Espaciais: Olhando do Alto para o Chão



## Satélites SAR

Radar de Abertura Sintética permite **mapeamento detalhado** e monitoramento de deformações do terreno e estruturas – mesmo sob condições climáticas adversas e à noite. Essencial para análise de riscos geotécnicos.

---

## GNSS

Geolocalização de **alta precisão** para equipamentos, trabalhadores e pontos de controle em campo, garantindo exatidão na execução de projetos e rastreamento de ativos.

# BIM: O Coração Digital do Projeto

## Além da Modelagem 3D

O BIM é a a espinha dorsal da Construção 4.0, integrando informações de custos, cronogramas, sustentabilidade e manutenção em um único modelo digital – o chamado **BIM 7D**.

- ❏ O Decreto nº 10.306/2020 tornou o BIM obrigatório em obras públicas no Brasil, com empresas relatando ganhos de produtividade **superiores a 30%**.



# IoT: Conectando o Canteiro de Obras



## Condições Estruturais

Sensores monitoram temperatura, umidade e integridade estrutural em tempo real, antecipando falhas antes que ocorram.



## Rastreamento de Ativos

Localização e uso de equipamentos e trabalhadores monitorados continuamente para maior segurança e eficiência operacional.



## Consumo de Recursos

Monitoramento de energia e água com impacto direto na sustentabilidade e redução de custos operacionais.

📄 A Tecnisa registrou **redução de 23%** no tempo de ciclo e **17% de economia de energia** com implementação de sistemas IoT em canteiros de obras.

# Inteligência Artificial: O Cérebro por Trás da Eficiência



O que a IA faz pela construção?

- **Predição de erros** e otimização de processos, como compactação inteligente de solos.
- **Processamento de imagens de drones** para inspeção remota de estruturas.
- **Automação de decisões** e geração de relatórios gerenciais em tempo real.
- **Modelos preditivos** para gestão de riscos geotécnicos combinados com IoT e BIM.



INFRAESTRUTURA ORBITAL

# O Papel das Tecnologias Espaciais

Projetos modernos de infraestrutura dependem crescentemente de **infraestrutura orbital** para sua operação, monitoramento e governança.

→ Satélites de Observação da Terra

Imageamento multiespectral e temporal de alta resolução.

→ Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)

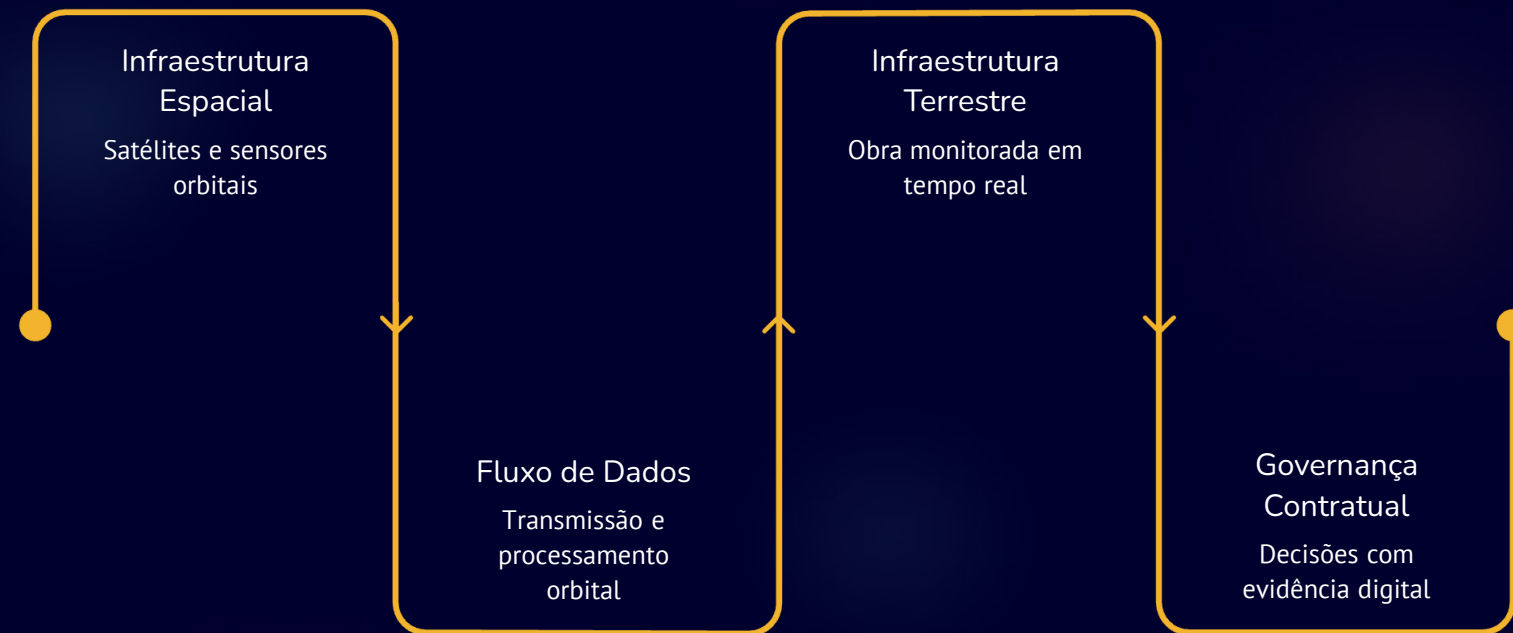
Deteção milimétrica de deformações e subsidências do solo.

→ Global Navigation Satellite System (GNSS)

Posicionamento preciso para controle geométrico de obras.

CONCEITO JURÍDICO-TECNOLÓGICO

# Lex Spatialis in Terra



O conceito jurídico de **local da obra** passa a incluir a infraestrutura espacial e digital que suporta o projeto – expandindo obrigações e responsabilidades contratuais para o domínio orbital.



# Aplicações das Tecnologias Espaciais em Infraestrutura



## Rodovias

Monitoramento de subsidência, desvios geométricos e erosão ao longo de centenas de quilômetros.



## Metrô e Túneis

InSAR detecta recalques superficiais em tempo real durante escavações urbanas sensíveis.



## Barragens

Vigilância contínua de deformações estruturais e movimentações de taludes.



## Cidades Inteligentes

Integração de dados orbitais ao planejamento urbano e gestão de riscos geotécnicos.

# InSAR Explicado em 10 Segundos



Pulso radar

Interferência

Mapa de  
deformação

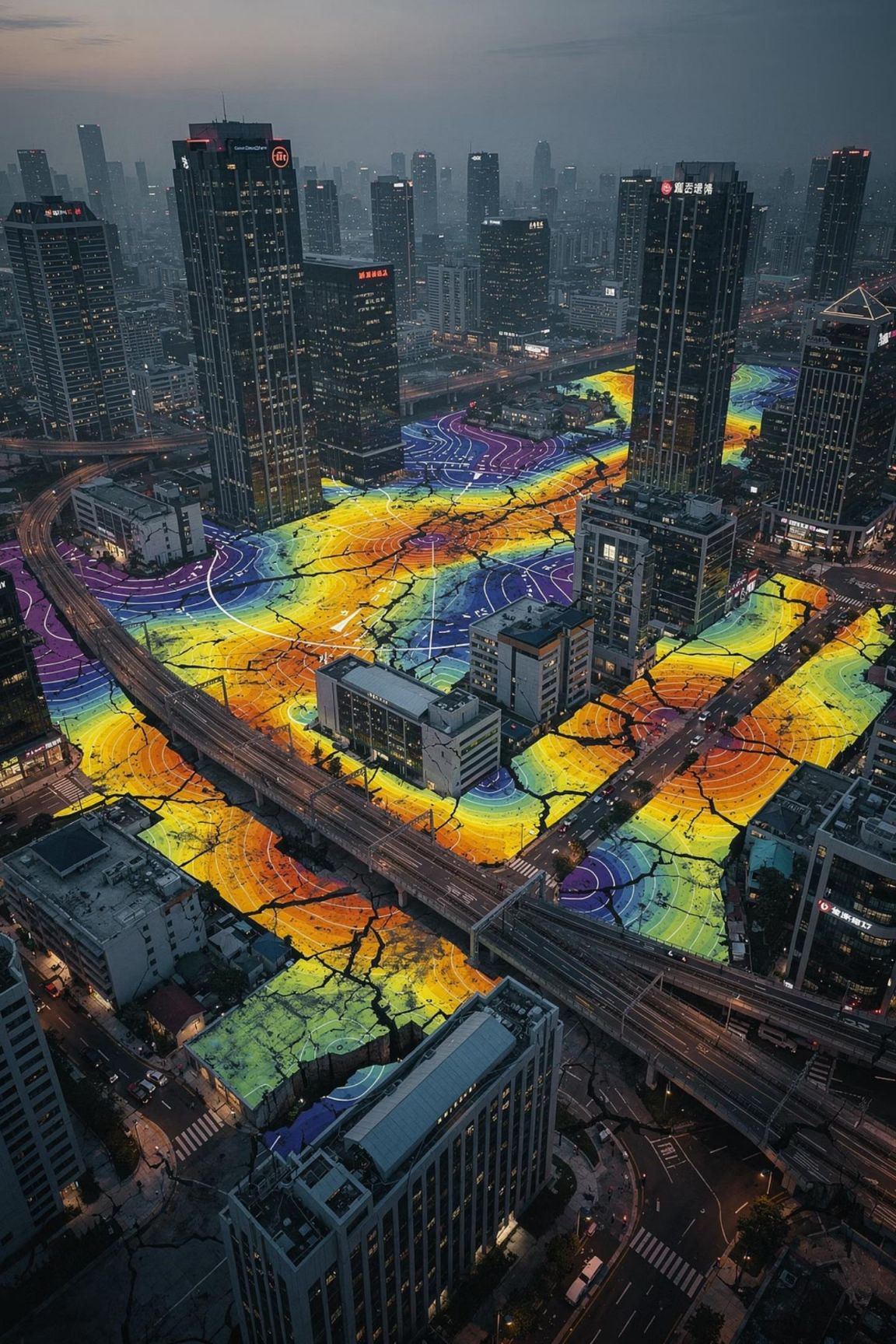
Como funciona?

O InSAR compara duas imagens de radar obtidas em momentos diferentes para calcular diferenças de fase – revelando deslocamentos do solo com precisão de **até 1 milímetro**.

Independente de clima  
Funciona dia e noite, com nuvens.

Cobertura ampla  
Centenas de km<sup>2</sup> por imagem.

Histórico temporal  
Dados retroativos disponíveis desde os anos 1990.



# Monitoramento Satelital: Leitura do Solo em Tempo Real

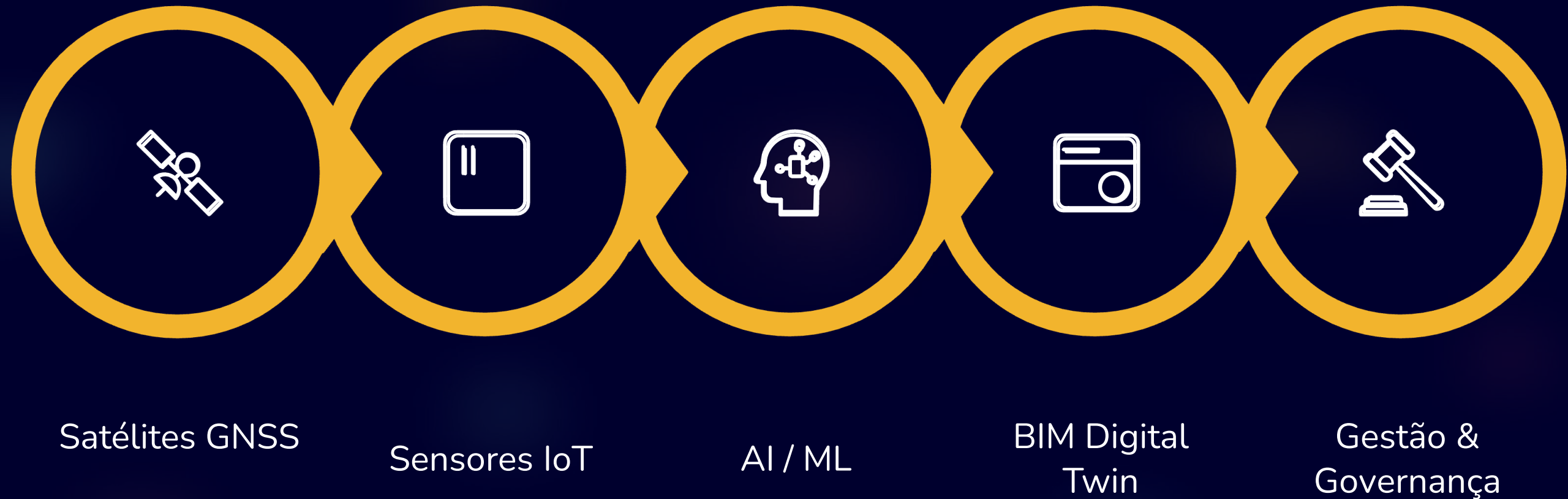
## Mapa de Deformação

Mapas interferométricos revelam padrões de subsidência e uplift com resolução espacial métrica, cobrindo toda a área de influência de uma obra.

## Série Temporal de Subsidência

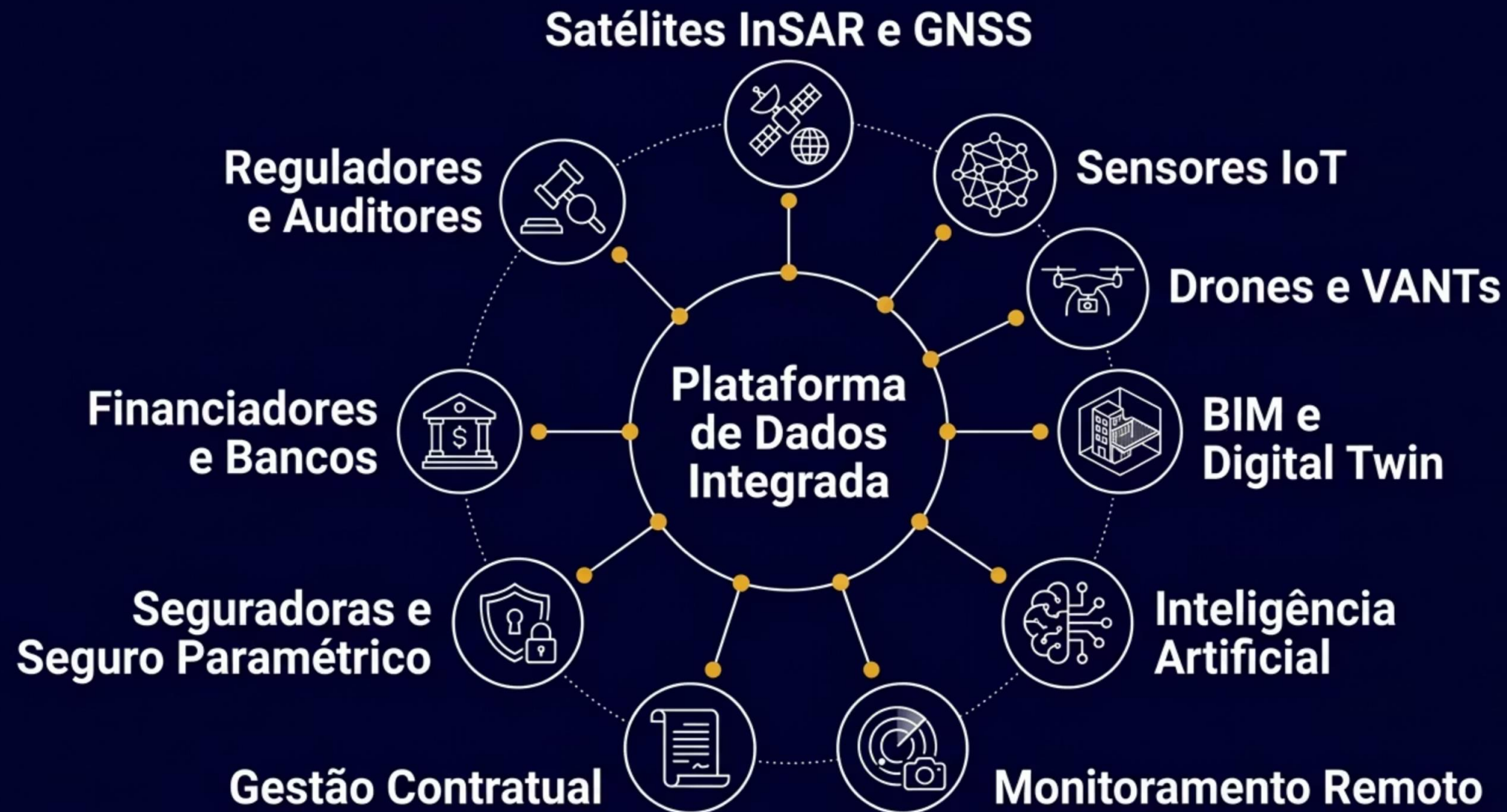


# Arquitetura Digital da Construção 4.0

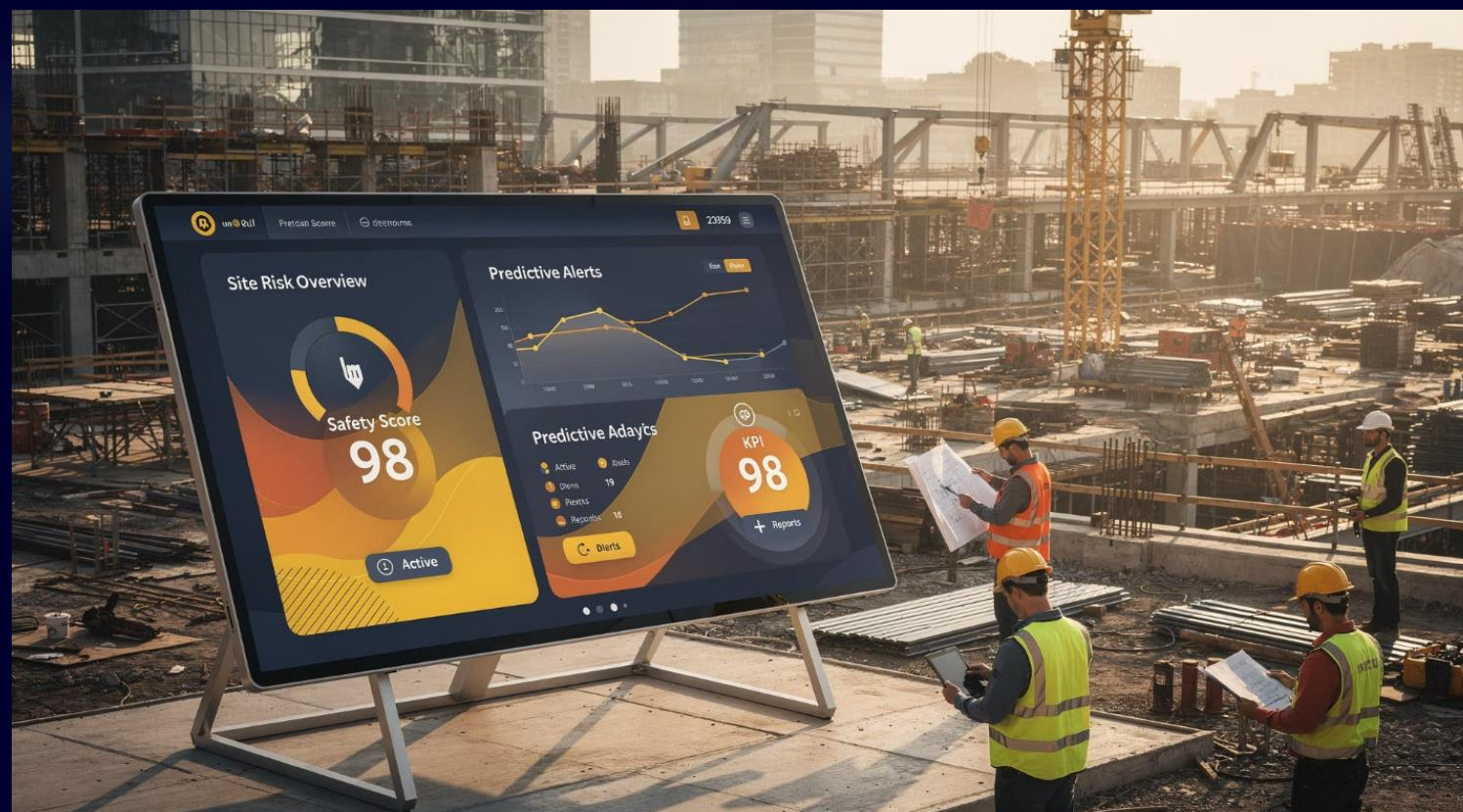


Cada camada desta arquitetura alimenta a próxima – criando um fluxo contínuo de dados que conecta o espaço ao escritório do gestor contratual em tempo real.

# Ecossistema Integrado da Construção 4.0



**Infraestrutura moderna funciona como um ecossistema digital integrado** – onde dados orbitais, sensores terrestres, modelos digitais e governança contratual operam em ciclo contínuo e interdependente.



## GESTÃO DE RISCOS

# Inteligência Espacial na Gestão de Riscos

### Detecção Precoce

Identificação de deformações antes de atingirem limiares críticos.

### Monitoramento Contínuo

24/7, independente de condições climáticas ou acesso ao local.

### Análise Preditiva

AI modela cenários futuros com base em tendências históricas de deformação.

### Redução de Incertezas

Dados objetivos substituem estimativas subjetivas em disputas e renegociações.

# Relatório de Linha de Base Geotécnica (GBR): Tradicional vs. com InSAR

## GBR TRADICIONAL



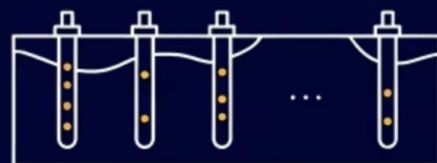
Amostras pontuais



Estimada



Estática (pré-obra)

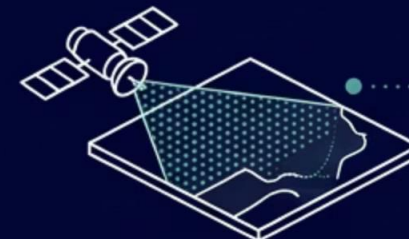


Limitada a furos



Baixo, subjetivo

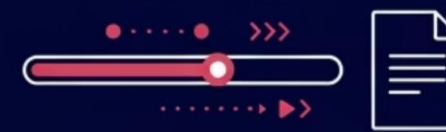
## GBR COM INSAR



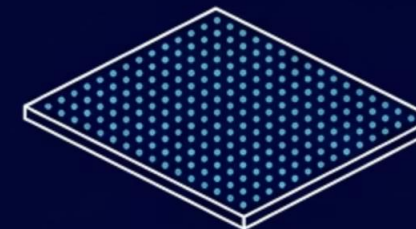
Cobertura satelital contínua



Dados históricos orbitais



Dinâmica (durante obra)



Área total do projeto



Alto, evidência digital

NOVO RISCO TECNOLÓGICO

# Clima Espacial: O Risco que os Contratos Ainda Ignoram

## ☀️ Tempestades Solares

Erupções solares intensas degradam sinais GNSS e podem tornar dados de posicionamento não confiáveis por horas ou dias.

## 🌐 Eventos Geomagnéticos

Perturbações ionosféricas geram erros de posicionamento de **até metros** – crítico para obras com tolerância milimétrica.

## ⚖️ Impacto Contratual

Falhas em sistemas GNSS durante fases críticas podem configurar força maior – cláusula raramente prevista em contratos de infraestrutura.



# Impactos das Tecnologias Espaciais na Gestão Contratual



## Monitoramento Independente

Dados orbitais são gerados por terceiros neutros – eliminando o monopólio informacional de qualquer parte contratual.



## Evidência Digital Objetiva

Registros imutáveis de progresso físico, condições do solo e eventos de obra com timestamp verificável.



## Maior Transparência

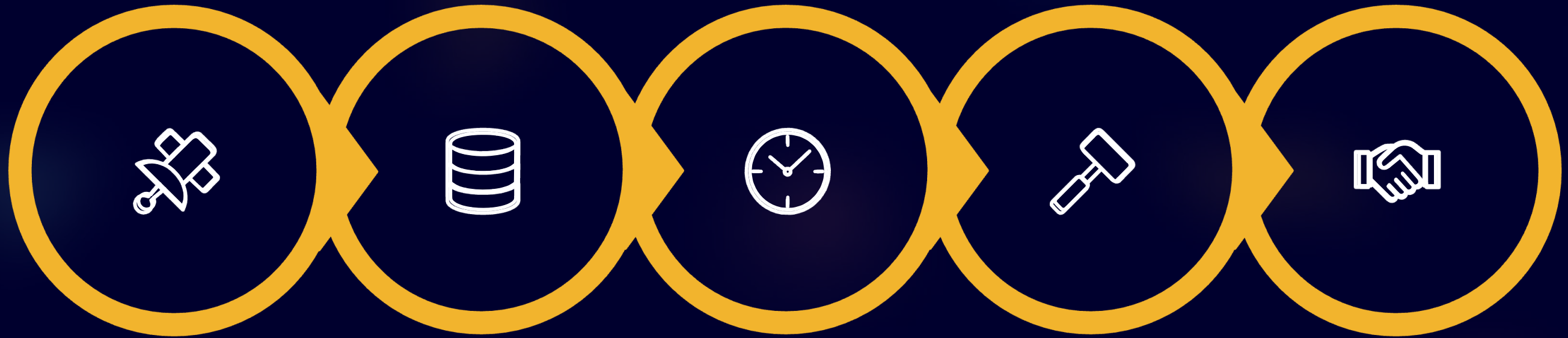
Todas as partes acessam os mesmos dados – reduzindo assimetria de informação entre contratante e contratada.



## Gestão Proativa de Riscos

Alertas precoces permitem acionamento de cláusulas contratuais antes que danos se materializem.

# Como Evitar Disputas Contratuais Usando Satélites



Monitoramento

Dados  
Objetivos

Registro  
Histórico

Evidência  
Técnica

Redução de  
Disputas

📄 Arquivos satelitais funcionam como uma **máquina do tempo factual** – permitindo reconstruir com precisão o estado da obra em qualquer data passada durante uma disputa contratual.



PROVA TÉCNICA

# Evidência Digital em Arbitragens

Imagens e dados satelitais têm sido admitidos como **prova técnica especializada** em arbitragens internacionais de infraestrutura.

## 1 Admissibilidade

Dados georreferenciados com metadados verificáveis atendem padrões probatórios internacionais (ICC, ICSID, CCI-Brasil).

## 2 Laudo Pericial

Peritos utilizam InSAR para demonstrar causa e cronologia de deformações estruturais.

## 3 Força Probatória

Evidência independente e objetiva – superior a registros internos das partes.



INOVAÇÃO CONTRATUAL

# Smart Contracts na Construção



## Pagamento Automático

Liberação de parcelas vinculada a marcos físicos verificados por BIM e satélites.



## Seguro Paramétrico

Indenização automática acionada por dados objetivos – ex.: subsidência além do limite contratual.



## Extensão de Prazo

Prorrogação automática baseada em eventos verificáveis – chuvas, movimentações geotécnicas, eventos de força maior.

# Desafios Regulatórios e Jurídicos



## Marco Regulatório em Formação

O Brasil e organismos internacionais ainda não possuem regulação específica para o uso de dados espaciais em contratos de infraestrutura – criando lacunas e oportunidades para operadores que atuam proativamente.

**Recomendação:** Incluir cláusulas específicas sobre dados digitais, privacidade e uso de evidência satelital já na fase de elaboração contratual.

# Comparação de Modelos de Monitoramento

Dimensão	Monitoramento Tradicional	Construção 4.0
Frequência	Inspeções periódicas (semanal/mensal)	Contínuo – 24/7 em tempo real
Cobertura espacial	Pontos discretos, acesso físico necessário	Área total do projeto, remoto
Precisão	Centimétrica a decimétrica	Milimétrica (InSAR + GNSS)
Registro histórico	Relatórios manuais, fragmentados	Banco de dados imutável, georreferenciado
Evidência contratual	Subjetiva, disputada	Objetiva, verificável por terceiros
Custo por km <sup>2</sup> /mês	Alto (mobilização de equipes)	Baixo (dados satelitais escaláveis)
Detecção de riscos	Reativa	Preditiva e proativa

# Engenharia 3.0 → 4.0 → 5.0



1



## Engenharia 3.0

Processos analógicos e digitais isolados. Inspeções manuais. Documentação em papel. Decisões baseadas em experiência individual.

## Engenharia 4.0

Digitalização do canteiro. Sensores IoT. BIM. Monitoramento remoto. AI para análise de dados. Integração de sistemas.

## Engenharia 5.0

Inteligência autônoma. Sistemas adaptativos. Integração espaço-terra. Governança contratual automatizada. Digital Twins preditivos.

A transição não é linear – projetos modernos já operam em camadas híbridas entre as três gerações, exigindo gestores capazes de navegar todas as dimensões simultaneamente.



NOVA GOVERNANÇA

# A Nova Governança dos Projetos de Infraestrutura

## 🏗️ Engenharia

Projeto, construção e verificação técnica com precisão digital.

## 🌟 Dados Espaciais

Monitoramento orbital independente e contínuo do ciclo de obra.

## 💻 Tecnologia Digital

BIM, IoT, AI e Digital Twin integrando todas as dimensões do projeto.

## 📄 Governança Contratual

Contratos inteligentes, evidência digital e gestão proativa de riscos e disputas.



PRÓXIMA FRONTEIRA

# Infraestrutura Monitorada em Tempo Real

A convergência de tecnologias espaciais, digitais e contratuais está criando uma nova classe de projetos de infraestrutura – **totalmente observáveis, rastreáveis e governáveis** em tempo real.

01

Obra como organismo digital

Cada elemento físico tem seu equivalente digital monitorado.

02

Contrato como código executável

Obrigações verificadas e cumpridas automaticamente por dados.

03

Risco gerido antes de ocorrer

AI identifica e aciona protocolos preventivos de forma autônoma.



# Do Conceito à Aplicação Prática

As tecnologias apresentadas não são futurismo — são ferramentas disponíveis hoje, com casos de uso documentados em projetos reais no Brasil e no mundo.

# Implementação Prática: Por Onde Começar



## Cláusulas Contratuais

Incorporar cláusulas de monitoramento digital e evidência satelital.



## Plataforma de Dados

Definir protocolo de coleta, armazenamento e acesso a dados digitais da obra.



## Monitoramento InSAR e GNSS

Contratar serviços de inteligência satelital para obras de alto risco geotécnico.



## BIM + Digital Twin

Integrar modelo BIM a dados de campo para gestão contratual baseada em evidência.

# Síntese: Benefícios da Construção 4.0 para Todas as Partes



## Contratantes e Investidores

Maior controle, previsibilidade financeira e evidência objetiva para tomada de decisão.



## Construtoras e EPC

Engineering, Procurement and Construction (**EPC**): proteção contra alegações infundadas e documentação robusta de eventos de força maior.



## Seguradoras

Dados objetivos para precificação de risco e liquidação ágil de sinistros com seguro paramétrico.



## Financiadores

Monitoramento independente de progresso físico para liberação de desembolsos.

# Desafios e Oportunidades

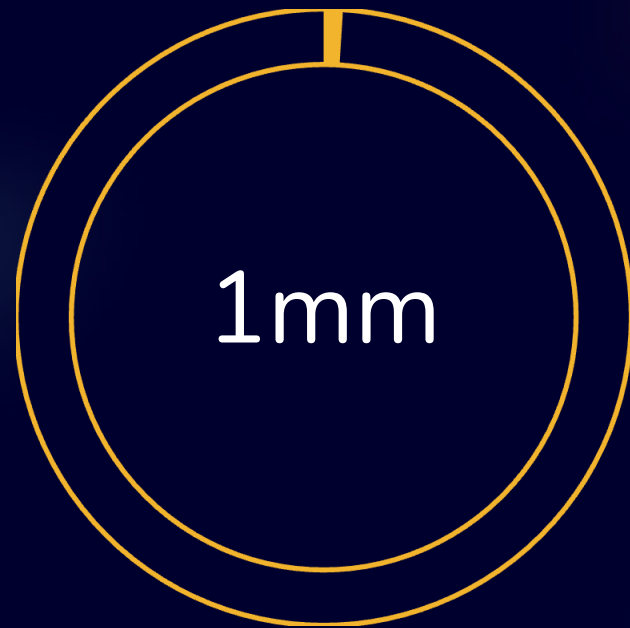
## Desafios

- **Investimento inicial elevado** em hardware, software e integração de sistemas
- **Capacitação profissional** contínua para equipes técnicas e de gestão
- **Resistência cultural** à mudança em empresas com processos tradicionais arraigados
- **Interoperabilidade** entre diferentes plataformas e fornecedores tecnológicos

## Oportunidades

- **Vantagem competitiva** em licitações e captação de projetos de maior complexidade
- **Atração e retenção de talentos** da nova geração de engenheiros e gestores
- **Desenvolvimento de soluções inovadoras** e novas linhas de negócio
- **Maior sustentabilidade** ambiental e responsabilidade social corporativa

# Conclusão: Os Pilares da Nova Engenharia Contratual



Precisão InSAR

Deteção de deformações inacessível a métodos tradicionais.



Monitoramento

Vigilância contínua e independente ao longo de toda a obra.



Rastreabilidade

Registro imutável de todos os eventos relevantes do projeto.

📄 **Lex Spatialis in Terra:** O futuro da governança contratual de infraestrutura começa na órbita – e aterrissa nos contratos que você assina hoje.

Os satélites não estão apenas observando a Terra.  
Eles estão se tornando parte da governança dos grandes projetos de infraestrutura.

A infraestrutura do futuro será monitorada do espaço.

---

Instituto de Engenharia – São Paulo | Construção 4.0 | *Lex Spatialis in Terra*



# Obrigada!

Lex Spatialis in Terra

Direito Espacial · Governança Tecnológica · Infraestrutura

---

*Ana Cristina Galhego Rosa*

e-mail: [anacristina.rosa@gmail.com](mailto:anacristina.rosa@gmail.com)

Conecte-se



Advogada Internacional especializada em Direito Espacial, governança tecnológica e infraestrutura – consultoria para governos, seguradoras e atores do setor de infraestrutura.

---

## **Tópicos abordados:**

- Tecnologias espaciais em infraestrutura
- InSAR, GNSS e monitoramento orbital
- BIM, IoT e AI na gestão contratual
- Evidência digital em arbitragens
- Lex Spatialis in Terra