



32^a

SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

Aplicação da Simulação de Monte

Carlo na Avaliação de Riscos de Prazo

em Projetos Metroferroviários

Murilo Gago Secchiero

AGENDA

01

Projeto TIC

Definição do Trem Intercidades, complexidade do projeto, desafios e riscos inerentes ao escopo.

02

O Problema

Limitações e dificuldades ao se utilizar os métodos comuns de gerenciamento de projetos.

03

Metodologia

O que é a Simulação de Monte Carlo e como ela pode ser aplicada no dia a dia do planejamento de projetos.

04

Resultados e Conclusões

Como foi realizada a análise e quais são os resultados obtidos.

Projetos metroferroviários: complexidade que o cronograma tradicional não captura sozinho



Multidisciplinaridade

Envolvimento de múltiplos recursos, disciplinas técnicas e stakeholders atuando simultaneamente.



Regionalidade

Projetos que atravessam diversos municípios, com aspectos ambientais, geotécnicos, políticos e socioeconômicos distintos.



Prazos

Implantação típica acima de 5 anos – tempo suficiente para as premissas mudarem no meio do caminho.



Influência

Projetos que são diretamente influenciados por decisões operacionais, regulatórias, políticas e ambientais.

O PROJETO TIC

Projeto Trem Intercidades – Eixo Norte

*Trem de média velocidade, o primeiro do Brasil, conectando São Paulo a Campinas, com parada em Jundiaí.
Investimento de R\$ 13,48 bilhões e concessão de 30 anos (TIC Trens / ARTESP).*

101 km

de extensão total

64 min

de trajeto, até 140 km/h

11

municípios atravessados

2031

previsão de início de operação

O PROJETO TIC

Um sistema integrado: Linha 07 – Rubi, TIM e TIC

- **Linha 7 – Rubi:** modernização do trem metropolitano existente entre Barra Funda e Jundiaí;
- **TIM (Trem Intermunicipal):** Construção e operação de uma linha de trem que liga os municípios entre Campinas e Jundiaí;
- **TIC (Trem Intercidades):** Trem de média velocidade (até 140 km/h) que liga os municípios de São Paulo e Campinas, com parada estratégica em Jundiaí.



O planejamento segmentado em 3 grandes trechos

Trechos I e II

Barra Funda → Jundiaí

Implantação do TIC e modernização da Linha 7.

- **Interferência mínima à operação existente;**
- Faixa de domínio restrita e compartilhada com o Operador de Carga;
- Existência de patrimônio histórico em toda a linha;
- Existência de sistemas obsoletos e sem reposição.

Trecho III

Jundiaí → Campinas

Implantação do TIC e TIM, e revitalização da Linha de Carga.

- Trecho sem operação comercial, com características de abandono;
- Condições desconhecidas de solo e aspectos ambientais;
- Existência de patrimônio histórico em toda a linha.

O cronograma TIC em números

25.000+

atividades no cronograma

24

meses de planejamento

~7

anos de implantação

Por que a incerteza permanece mesmo com um cronograma robusto?

Projeto inovador

Restrições e ausência de informação detalhada em alguns temas, por ser implantação pioneira no Brasil.

Stakeholders

Dependência de aprovação de múltiplos stakeholders, com intenções e objetivos distintos.

Variabilidade Natural

Desvios de produtividade, alterações de escopo, mudanças regulatórias e eventos externos imprevisíveis.

Ativos Tombados

Obras em linha histórica com volume elevado de edificações tombadas e risco de descobertas arqueológicas.

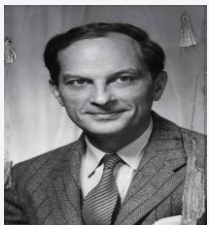
Horizonte Longo

5 a 7 anos de implantação – tempo suficiente para premissas mudarem.

O que é a Simulação de Monte Carlo?

Método probabilístico utilizado para estimar resultados de um processo influenciado por eventos e variáveis que não podem ser definidos com precisão.

Baseia-se na avaliação de múltiplos cenários randômicos, cujo resultado gera uma distribuição de probabilidades do processo — considerando todas as incertezas existentes dentro do escopo.



ORIGEM: PROJETO MANHATTAN, 1940s

Stanislaw Ulam, ao estudar difusão de nêutrons, propôs avaliar um grande número de experimentos aleatórios. Com John von Neumann e Nicholas Metropolis, o método foi batizado "Monte Carlo", em referência ao cassino de Mônaco (Metropolis; Ulam, 1949).

A LÓGICA EM 3 PASSOS

1

Definir incerteza

Cada variável (ex.: duração de uma atividade) recebe um intervalo mínimo–provável–máximo, não um valor único.

2

Simular centenas/milhares de vezes

O modelo sorteia valores aleatórios dentro do intervalo, repetindo o processo N vezes.

3

Ler o resultado como distribuição

O conjunto de resultados forma uma distribuição de probabilidades — não uma resposta única.

Por que utilizar a simulação de Monte Carlo?

A abordagem determinística representa apenas um cenário possível de execução, assumindo premissas fixas para a duração de atividades, disponibilidade de recursos e demais condicionantes do empreendimento.

O QUE O CPM TRADICIONAL AINDA NÃO RESOLVE SOZINHO

- Premissas fixas de duração e produtividade
- Não incorpora variabilidade histórica de forma explícita
- Caminho Crítico único — ignora atividades quase críticas
- Sem visão de probabilidade de cumprir o prazo contratual

Passo 1 — Agrupar as 25 mil atividades por fator de risco comum

138

grupos de atividades — de projeto e suprimentos a comissionamento e operação

Trechos I e II — obras civis

Produtividade já reduzida pelas restrições operacionais. Premissas tendem a **REDUZIR** o prazo (oportunidades de aceleração).

Implantação de sistemas

Risco elevado — impacta diretamente a operação de trens. Premissas tendem a **AUMENTAR** o prazo.

Execução de projetos e atividades específicas

Baseada na produtividade real das subcontratadas; licenças e certificações recebem premissas individuais (% ou dias absolutos).

Exemplo real: premissas de variação (Min / Mais Provável / Max) por subgrupo — Tabela 1 do artigo

ID	Fase	Grupo	Subgrupo	Descrição	Min	MP	Max
83	Construção	Civil	Etapas Preliminares 1	Mobilização / Construção Canteiro	-5%	0%	5%
84	Construção	Civil	Etapas Preliminares 2	Remanejamento de Interferências	-5%	0%	15%
85	Construção	Civil	Trecho I - Implantação 1	Execução de OACs	-15%	0%	5%
86	Construção	Civil	Trecho I - Implantação 2	Serviços de Terraplenagem	-15%	0%	5%
87	Construção	Civil	Trecho II - Implantação 1	Execução de OACs	-10%	0%	10%
88	Construção	Civil	Trecho II - Implantação 2	Serviços de Terraplenagem	-10%	0%	10%
89	Construção	Civil	Trecho III - Implantação 1	Execução de OACs	-5%	0%	15%
90	Construção	Civil	Trecho III - Implantação 2	Serviços de Terraplenagem	-5%	0%	15%
91	Construção	Civil	Trecho I - Implantação 3	Vedação de Faixa	-5%	0%	5%
92	Construção	Civil	Trecho II - Implantação 3	Vedação de Faixa	-5%	0%	5%
93	Construção	Civil	Trecho III - Implantação 3	Vedação de Faixa	0%	5%	10%
94	Construção	Civil	Trecho I - Implantação 4	Execução de VPM	-15%	-5%	10%
95	Construção	Civil	Trecho II - Implantação 4	Execução de VPM	-10%	0%	10%
96	Construção	Civil	Trecho III - Implantação 4	Execução de VPM	0%	5%	10%

Passo 2 — Definir o tipo de distribuição para cada um dos grupos de premissas

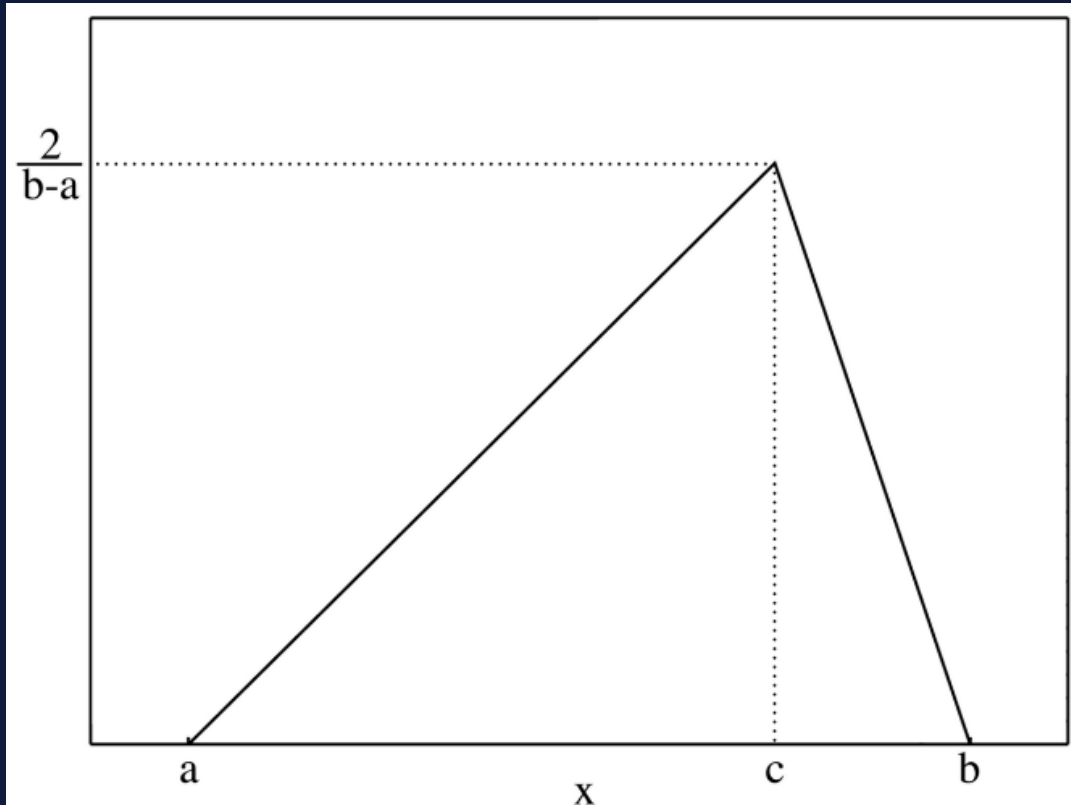


Figura 6 — Distribuição triangular: densidade de probabilidade (a = mínimo, c = mais provável, b = máximo)

POR QUE A DISTRIBUIÇÃO TRIANGULAR?

- Requer apenas 3 parâmetros de entrada: valor mínimo, mais provável e máximo — adequada mesmo com dados históricos limitados.
- Maior concentração de probabilidade em torno do valor mais provável (a duração já definida pela equipe de planejamento).
- Método similar ao PERT, comumente utilizado para análise de variação do Caminho Crítico.
- Escolhida por indisponibilidade de dados históricos suficientes para ajustar distribuições mais robustas (normal, beta).

Como cada duração é definida

R = número aleatório entre 0 e 1

dx = duração (mínima, média ou máxima) de determinada atividade

Em cada iteração, para cada tarefa, um valor de R é sorteado e aplicado à função da distribuição triangular — gerando uma duração estimada específica daquela iteração.

EXEMPLO — TERRAPLENAGEM (KM 70+000 a 70+300)

Duração real (planejada): 30 dias

Faixa: 28,5 dias (mín.) a 34,5 dias (máx.)

Iteração 1 → R = 0,41 → duração estimada = 30,5 dias
Iteração 2 → R = 0,46 → duração estimada = 30,7 dias
Iteração 3 → R = 0,05 → duração estimada = 29,1 dias
...
Iteração n → R = 0,23 → duração estimada = 29,9 dias

Exemplo prático (Tabela 4 do artigo)

Iteração	Descrição da Tarefa	Duração Real	Duração Mínima (Real x Pmin)	Duração Máxima (Real x Pmax)	Aleatório	Duração Estimada (Monte Carlo)
1	Execução de terraplenagem do km 70+000 ao km 70+300	30 dias	28,5 dias	34,5 dias	0,41	30,5 dias
2					0,46	30,7 dias
3					0,05	29,1 dias
4					0,21	29,9 dias
.					0,90	32,9 dias
.						
n					0,23	29,9 dias

RESULTADOS

Passo 3 — Execução: 1.000 iterações do cronograma completo

1.000

iterações (repetições)
do cronograma

25.000+

atividades recalculadas
em cada iteração

100%

das precedências do
cronograma respeitadas

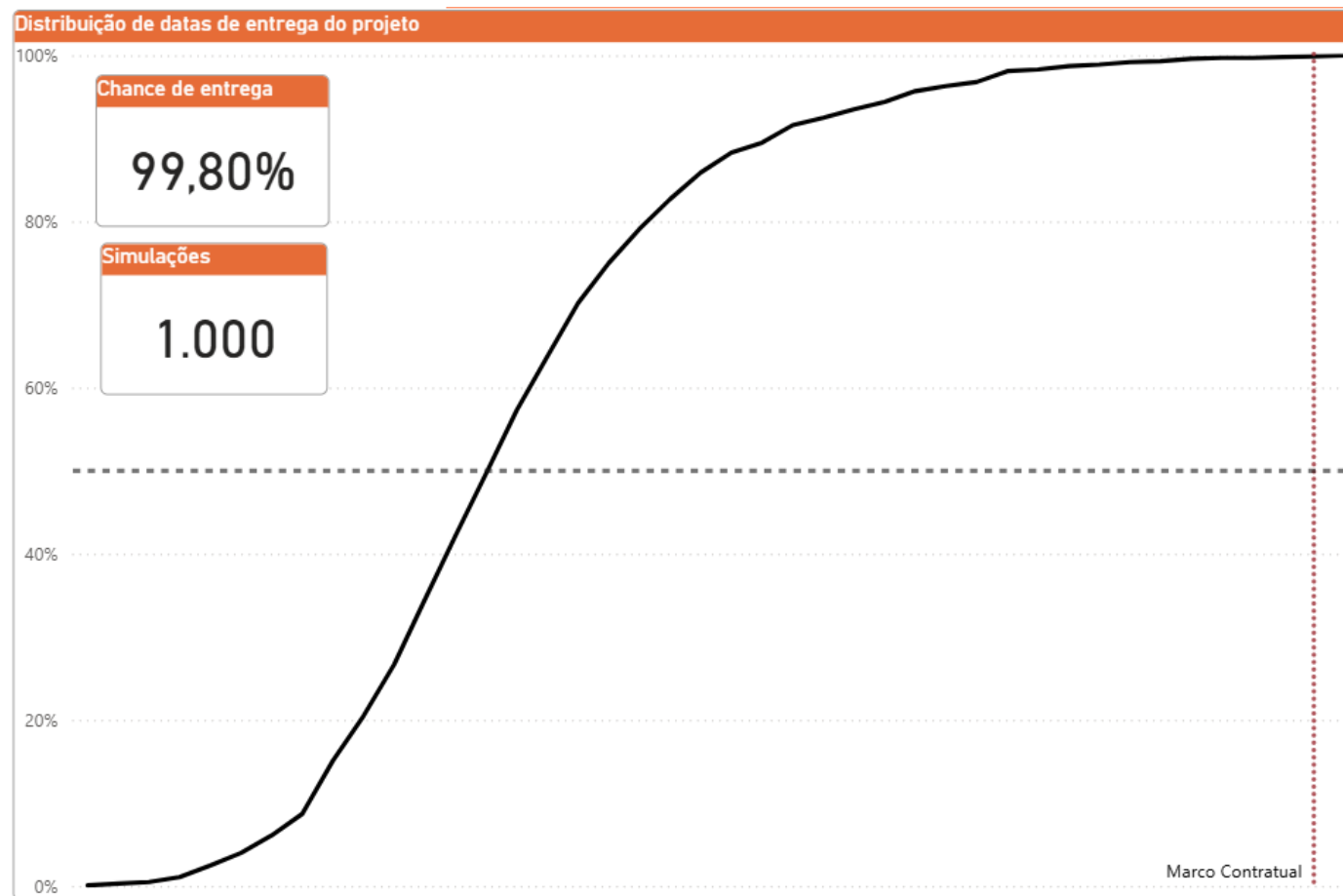


Figura 7 — Distribuição de probabilidades de entrega do projeto TIC.

A curva S acumulada mostra, para cada data possível, a probabilidade de o projeto estar concluído até aquele ponto — a inclinação íngreme central indica que a maior parte dos cenários simulados converge para um intervalo de datas relativamente estreito.

CONCLUSÃO

Qual o resultado da Simulação de Monte Carlo?

1. DEFINIÇÃO DOS CAMINHOS SENSÍVEIS (MONTE CARLO)

Atividades que, embora não estejam no Caminho Crítico, apresentam **elevada sensibilidade para influenciar o prazo global do empreendimento.**

3. VALIDAÇÃO DE PREMISSAS DE CRONOGRAMA

Possibilidade de reestudar premissas adotadas no cronograma com base nas datas prováveis de início de atividades (ex: chuvas).

2. ANTECIPAÇÃO DE PLANOS DE AÇÃO

Definição de ações para garantir que tarefas não se tornem críticas ao longo da implantação.

4. COMPARTILHAMENTO DE RISCOS

Compartilhamento de riscos com os principais stakeholders considerando eventuais fatores externos que podem impactar o projeto.

Lições Aprendidas



Complementar, não substituir

A Simulação de Monte Carlo não substitui o cronograma nem a análise do Caminho Crítico — as metodologias têm papéis complementares.



Riscos de Causa (Baixa Probabilidade)

Riscos de baixíssima probabilidade (ex.: achados arqueológicos) são tratados como outliers — mas, se materializados, têm impacto relevante no prazo.



Atualização Constante

Pode e deve ser realimentada continuamente com as produtividades reais de tarefas em execução, ganhando assertividade e precisão ao longo do tempo.

32^a

SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

OBRIGADO(A)!

Murilo Gago Secchiero

murilo.secchiero@tictrens.com.br



13ª Edição
Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP **TRILHOS**
Associação Nacional dos Transportadores
de Passageiros sobre Trilhos

TIC TRENS

 **AEAMESP**
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ