XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8560

Ensino da Variabilidade em Processos de Construção por Meio de Simulação Didática

Teaching Variability in Construction Processes Through Three Digits Sums Simulation

Luiz Fernando Mahlmann Heineck
Universidade Estadual do Ceará - UECE| Fortaleza | Brasil | E-mail luiz.heineck@uece.br
Madalena Osório Leite da Silva
Universidade de Fortaleza - Unifor | Fortaleza | Brasil | E-mail madalenaosorioleite@unifor.br
Antonio Nunes de Miranda Filho
Instituto Tecnológico de Aeronáutica | Fortaleza | Brasil | E-mail antoniofilhoanmf@fab.mil.br
Luis Felipe Cândido
Universidade Federal do Ceará - UFC| Crateús | Brasil | E-mail candido@crateus.ufc.br

Resumo

Este artigo apresenta e avalia um exercício didático voltado ao ensino do conceito de variabilidade em processos de construção, utilizando a soma de números de três dígitos para simular a execução de tarefas produtivas. O problema abordado é a predominância de uma mentalidade determinista na formação de engenheiros civis, que dificulta a compreensão da natureza estocástica dos canteiros de obras. O objetivo é introduzir conceitos estatísticos como média, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) por meio de uma abordagem prática e experiencial. O método adota pesquisa-ação em ambiente de ensino superior, com aplicação do exercício a uma turma de graduação de cerca de 35 alunos e análise de 800 dados individuais de desempenho. Os resultados demonstram que o aumento da produtividade está associado à redução da variabilidade e que a incerteza do desempenho real é amplificada no processo de estimativa de prazos. A contribuição reside no desenvolvimento de uma ferramenta pedagógica replicável que prepara o graduando para lidar com a variabilidade nos processos produtivos da construção civil.

Palavras-chave: Variabilidade. Ensino de Engenharia. Produtividade. Construção Civil. Simulação.

Abstract

This paper presents and evaluates a didactic exercise designed to teach the concept of variability in construction processes, using the summation of three-digit numbers as a simulator of productive tasks. The problem addressed is the predominantly deterministic mindset in engineering education, which hinders students from understanding the stochastic nature of construction sites. The objective is to introduce statistical concepts such as mean, standard deviation, and coefficient of variation (CV) through a hands-on, experiential approach. The method employs action research in an undergraduate classroom setting, with the exercise applied to a group of approximately 35 students and analysis of 800 individual performance observations. Results demonstrate that productivity gains are associated with variability reduction, and that uncertainty in actual performance is amplified in the time-estimation process. The contribution of this work lies in providing a replicable pedagogical tool that

prepares engineering students to understand and manage variability in construction production processes.

Keywords: Variability. Engineering Education. Productivity. Building Construction. Simulation.

INTRODUÇÃO

O ensino e a mentalidade incutida nos engenheiros civis é, tradicionalmente, a de certeza e determinismo na relação entre variáveis, uma vez que os assuntos técnicos são frequentemente explicados em ambientes ideais. Problemas de incerteza e imprecisão na engenharia são comumente acomodados através de coeficientes de segurança, o que pode mascarar a necessidade de compreender a natureza estocástica e a transmissão da variação nos projetos [1].

Devido a essa formação focada em cenários determinísticos, um dos impactos que os recém-egressos dos cursos de graduação sofrem ao enfrentar a vida profissional é verificar a variabilidade, a incerteza e a caoticidade com que se dão os eventos no dia a dia das obras. Essa distância entre as teorias discutidas na universidade e a prática industrial exige que novas filosofias de produção e gestão sejam introduzidas para oferecer uma visão mais realista do setor [2].

Uma estratégia para familiarizar o graduando com a visão de variabilidade e distribuição probabilística dos dados é solicitar que sejam feitas medições de produtividade, de consumo de materiais ou dimensões em obra. Muitas vezes, essas medições apresentam resultados com elevada dispersão, evidenciando que técnicas de planejamento determinísticas falham em capturar a complexidade real dos fluxos de produção [3].

Apresenta-se, neste trabalho, um exercício de soma de números de três dígitos capaz de ilustrar os principais conceitos estatísticos necessários para compreender e conviver com a variabilidade, auxiliando na precisão de estimativas de consumo e durações. O uso de tais simulações interativas é fundamental para facilitar a transição entre teoria e prática, permitindo que os estudantes compreendam o funcionamento de sistemas produtivos sob condições reais de incerteza. Conforme destacado por Neeraj et al. [4], a conexão entre princípios ilustrados em simulações e situações reais de canteiro é essencial para a efetividade pedagógica. O objetivo deste trabalho é descrever a aplicação desse exercício e analisar os resultados obtidos como ferramenta de ensino da variabilidade em cursos de engenharia civil.

REFERENCIAL TEÓRICO

A variabilidade na construção civil manifesta-se pela falta de uniformidade nos fluxos de trabalho, afetando tanto a duração da execução das tarefas, seu consumo de mão de obra, quanto a chegada de recursos. Para lidar com essa realidade, a Simulação de Eventos Discretos surge como uma ferramenta capaz de modelar durações de atividades de forma estocástica, permitindo que gestores identifiquem caminhos críticos que surgem especificamente devido à alta variação dos processos [3].

Para mitigar os impactos negativos dessa variabilidade, a integração de sistemas como o *Last Planner System* e o *Location-Based Management System* tem sido explorados. Enquanto o primeiro foca em processos colaborativos para aumentar a confiabilidade dos compromissos, o segundo fornece a base técnica para visualizar fluxos de trabalho por localização e gerenciar mitigadores da variabilidade de forma explícita [5].

O aprendizado desses conceitos pode ser potencializado através de jogos de simulação pedagógicos, como o Desafiando a Produção, que utiliza elementos lúdicos para representar situações reais de obra. Essa abordagem prática facilita a retenção de conhecimento sobre os princípios da construção enxuta e promove mudanças de comportamento baseadas na experiência [2].

O impacto que a variabilidade de uma equipe exerce sobre as especialidades sucessoras é demonstrado de forma intuitiva pelo jogo *Parade of Trades*. A simulação revela que a produção total de um sistema linear é reduzida quando o fluxo de trabalho não é confiável, evidenciando a importância da estabilidade do processo [6].

Mesmo com a utilidade das simulações, iniciantes no setor frequentemente enfrentam dificuldades em conectar os jogos com a execução real no canteiro. Por essa razão, o desenvolvimento de exemplos práticos que vinculem sistematicamente os princípios ilustrados em simulações a estudos de caso reais é necessário [4].

Sob a perspectiva da Engenharia de Resiliência, reconhece-se que uma parcela da variabilidade é inevitável e exige que as organizações apoiem a capacidade de ajuste das equipes frente a distúrbios, entendendo seus mecanismos de ocorrência e propagação [7]. Ademais, como mais um recurso para o enfrentamento da variabilidade, tem-se a implementação do Trabalho Padronizado. Este atua como um pilar para reduzir as oscilações na execução de processos, permitindo a transferência sistemática de conhecimento e a estabilização das atividades produtivas [8].

MÉTODO DE PESQUISA

Este estudo configura-se como uma pesquisa-ação de natureza qualitativa e quantitativa, desenvolvida em contexto de ensino superior. A atividade foi aplicada a uma turma de graduação em Engenharia Civil composta por aproximadamente 35 participantes, em uma disciplina voltada à gestão da produção na construção. A coleta de informações ocorreu por meio do registro dos tempos individuais de execução e dos tempos estimados por participante ao longo das oito colunas do exercício, totalizando cerca de 800 dados passíveis de serem numericamente analisados. Cada participante gerou aleatoriamente seus próprios números de três dígitos. Os dados coletados foram organizados em planilhas e analisados estatisticamente por meio de medidas descritivas (média, desvio padrão e coeficiente de variação). Foram feitas regressões simples entre as variáveis de interesse. A análise buscou identificar relações entre eficiência operacional, estabilidade do processo e capacidade de previsão individual.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8560

APLICAÇÃO DA ATIVIDADE

O exercício originalmente proposto consiste na soma de oito colunas, cada uma contendo oito linhas. Ao explicar o exercício, solicita-se que os números de três dígitos não contenham zeros, para dificultar o processo de soma. A Figura 1 apresenta a planilha a ser preenchida individualmente pelos participantes.

Figura 1: Planilha para a atividade

	Números de 3 dígitos								Média	Desvio	Média/ Desvio
Soma											
Tempo estimado									(1)	(2)	(3)
Tempo real									(4)	(5)	(6)
Tempo estimado/ Tempo real									(7)	(8)	(9)

Os números das colunas são somados e os resultados formam a primeira linha de células (soma). Os somatórios podem ser feitos à mão ou com calculadora. Em geral, observa-se que os participantes tendem a iniciar o exercício apressadamente, comprometendo a exatidão dos cálculos e o atendimento às regras estabelecidas. Preventivamente informa-se que apenas os somatórios corretos serão considerados. Não é determinado que o objetivo seja realizar a tarefa no menor tempo possível; contudo, essa reação ocorre de forma espontânea. Tal comportamento permite emular situações da vida profissional, nas quais trabalhadores tendem a priorizar a rapidez em detrimento da execução correta da tarefa.

A segunda linha de células corresponde ao tempo esperado para a realização da soma de cada coluna. Essas células são preenchidas uma a uma após a realização do somatório da coluna anterior, ou seja, já tendo sido adquirida experiência em relação à diferença entre o tempo inicialmente previsto e o tempo efetivamente obtido. Imagina-se que com a repetição os alunos sejam capazes de estimar com precisão uma tarefa que vem sendo realizada a muitos anos em sua carreira educacional.

A terceira linha de células é utilizada para anotar o tempo real gasto em cada somatório. Recomenda-se identificar as colunas com letras (A, B, C, ...) e as linhas com números (1, 2, 3...), de modo que cada célula seja referenciada de forma inequívoca, por exemplo, B3 corresponde ao número de três dígitos na segunda coluna, terceira linha. Essa convenção elimina ambiguidades na descrição do exercício. A escolha da soma de oito números de três dígitos não foi feita com critério especial prévio. Busca-se um tempo suficientemente longo para que a medição possa ser realizada com o uso do celular. Durações na ordem de 15 a 30 segundos têm se mostrado adequadas empiricamente.

A quarta linha corresponde à razão entre o tempo estimado e o tempo real de execução em cada somatório. Um valor maior que 1 indica que o participante superestimou o tempo necessário (estimou mais do que efetivamente levou); valor menor que 1 indica subestimativa. Essa métrica é utilizada como indicador da acurácia da previsão individual.

A primeira coluna de células estatísticas representa a média (1) dos valores de cada linha. Destacam-se as médias dos tempos estimados, dos tempos reais e da razão estimado/real, que serão utilizadas nas análises estatísticas subsequentes. Se conveniente, pode-se pedir para que sejam feitas as médias dos números aleatórios de três dígitos em cada uma das 8 linhas, bem como as médias dos somatórios de cada coluna. Isto pode evidenciar que números aleatórios de três dígitos tendem a apresentar valor médio próximo de 500.

Recomenda-se que os alunos realizem o cálculo dessas médias tanto com o uso de calculadora quanto por meio de um procedimento expedito, somando o maior e o menor valor da coluna e dividindo o resultado por dois. Essa abordagem busca introduzir a noção de que a amplitude dos valores obtidos na medição de produtividade em canteiros de obra fornece informações relevantes sobre o controle do processo, além de permitir estimativas aproximadas da média dos tempos.

A segunda coluna de células estatísticas representa o desvio padrão (2) dos valores presentes nas linhas. Serão utilizadas, nas regressões subsequentes, as células correspondentes a essa medida, com o objetivo de demonstrar como a variabilidade do processo se relaciona com a eficiência e com a capacidade de previsão. O desvio padrão pode ser calculado por meio de funções estatísticas disponíveis em calculadoras. Recomenda-se também que os alunos realizem uma estimativa simplificada, obtida pela diferença entre o maior e o menor valor dividida por 3. Esse procedimento corresponde a uma aproximação do cálculo do desvio padrão a partir da amplitude associada a um intervalo de confiança de aproximadamente 90%.

Para uma distribuição normal, a faixa que abrange 90% das observações pode ser representada pela média acrescida e reduzida de 1,64 desvios padrão. Dessa forma, a amplitude total corresponde a aproximadamente 3,28 desvios padrão, valor que pode ser aproximado para 3 em aplicações práticas. Esse raciocínio também se relaciona ao ensino de durações probabilísticas no método PERT, no qual o desvio padrão é estimado pela diferença entre os valores pessimista e otimista dividida por seis. Introduz-se assim regras expeditas para estimativas da variabilidade de processos e de seus consumos de mão de obra.

A terceira coluna de células estatísticas representa o coeficiente de variação (3), que é uma medida relativa da variabilidade. Ele é obtido pela razão entre o desvio padrão e a média, sendo expresso em forma decimal ou percentual. Enquanto o desvio padrão mantém a mesma unidade da variável analisada, o coeficiente de variação é adimensional. Os valores obtidos para os coeficientes de variação serão utilizados nas análises de regressão subsequentes.

Os coeficientes de variação calculados para cada linha de números aleatórios fornecem um parâmetro de referência para a variabilidade do processo. Caso os

tempos reais, os tempos estimados ou a relação estimado/real apresentem coeficientes de variação semelhantes aos obtidos para números gerados aleatoriamente (como é o caso da geração dos 64 valores distribuídos em linhas e colunas), a capacidade de estimar e controlar os processos produtivos pode ser considerada limitada. Esse resultado torna-se ainda mais crítico quando comparado à realidade das obras, nas quais as condições de execução são mais complexas e sujeitas a interferências internas e externas. Dessa forma, pode-se evidenciar que o desempenho humano no trabalho e a capacidade de previsão podem apresentar níveis de variabilidade comparáveis aos de processos aleatórios para tarefas simples como a soma de números. Os participantes do exercício podem a partir daí extrapolar conclusões sobre a variabilidade na realidade das obras.

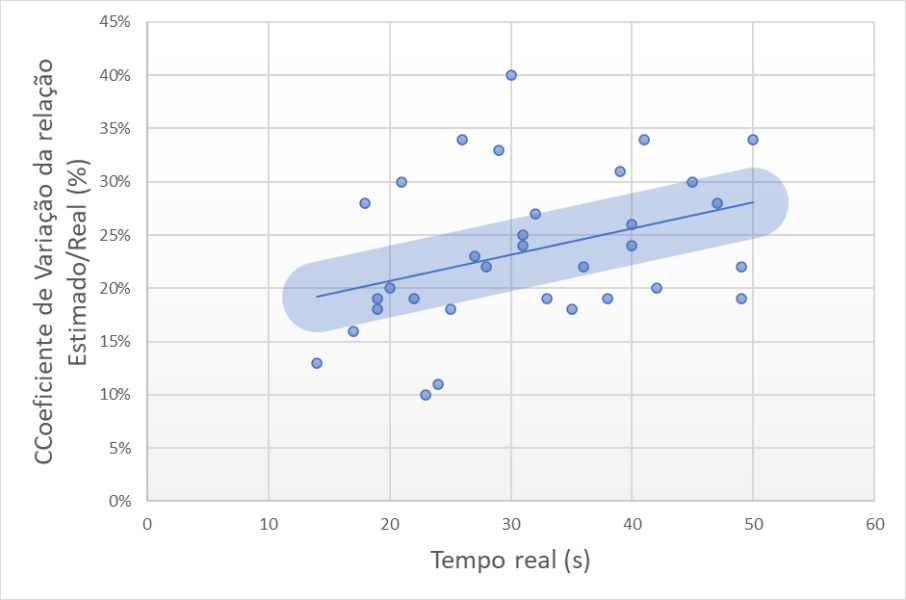
ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a realização do exercício, os resultados estatísticos (médias, desvios padrão e coeficientes de variação) foram compilados e apresentados aos participantes em sala de aula, por meio de gráficos de dispersão elaborados com os dados da turma. Essa etapa de devolutiva buscou promover a reflexão sobre o próprio desempenho e sobre a natureza da variabilidade observada. Os alunos foram incentivados a comparar sua percepção inicial sobre o tempo necessário para a tarefa com os valores efetivamente medidos, identificando padrões de superestimativa e subestimativa. A discussão coletiva pós-exercício constituiu parte essencial da atividade pedagógica, conectando os dados empíricos aos conceitos de gestão da produção abordados na disciplina.

O gráfico 1 apresenta a relação entre a média dos tempos reais de execução e o coeficiente de variação da razão entre tempo estimado e tempo real, considerando indistintamente os resultados obtidos com e sem o uso de calculadora. Observa-se que o tempo médio de execução se situa em torno de 30 segundos, enquanto o coeficiente de variação médio aproxima-se de 25%. Esse valor indica que aproximadamente dois

terços das variações na relação entre tempo estimado e tempo real encontram-se dentro de um intervalo de ±25% em torno da média. Cada ponto no gráfico representa o desempenho de um aluno ao realizar o somatório das 8 colunas e ao fazer a estimativa de quanto tempo levaria em cada uma delas, quando comparado com o tempo efetivamente gasto.

Gráfico 1: Eficiência vs. Precisão da Previsão

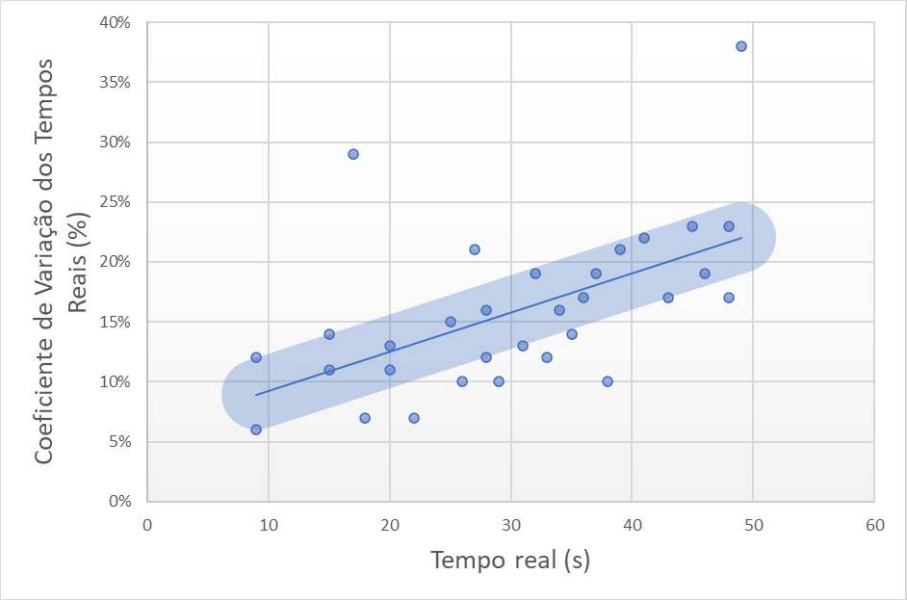


A título de ilustração: se a estimativa média for 20% superior ao tempo real (explorado no Gráfico 4), a maior parte das estimativas situar-se-á no intervalo entre 0,90 e 1,50 para dois terços das ocorrências (calculado como 1,20 ± 0,25×1,20). Esse resultado evidencia elevada dispersão nas estimativas individuais, indicando que parte dos participantes superestima significativamente seu desempenho, enquanto outros tendem a subestimá-lo. Ao ver seus dados plotados junto aos da turma, os participantes podem perceber de forma concreta esse fenômeno de dispersão — uma das principais contribuições pedagógicas da atividade.

A análise da tendência observada no Gráfico 1 indica que, à medida que o tempo real de execução diminui, também ocorre redução no coeficiente de variação das estimativas. Esse comportamento sugere que o aumento da eficiência operacional está associado a maior precisão na capacidade de previsão. Ressalta-se que o coeficiente de variação é uma medida relativa, sendo influenciado pela magnitude dos valores médios. Assim, observa-se que a redução da variabilidade das estimativas ocorre de forma proporcionalmente mais significativa do que a redução dos tempos reais, indicando um efeito adicional relacionado à diminuição dos tempos reais.

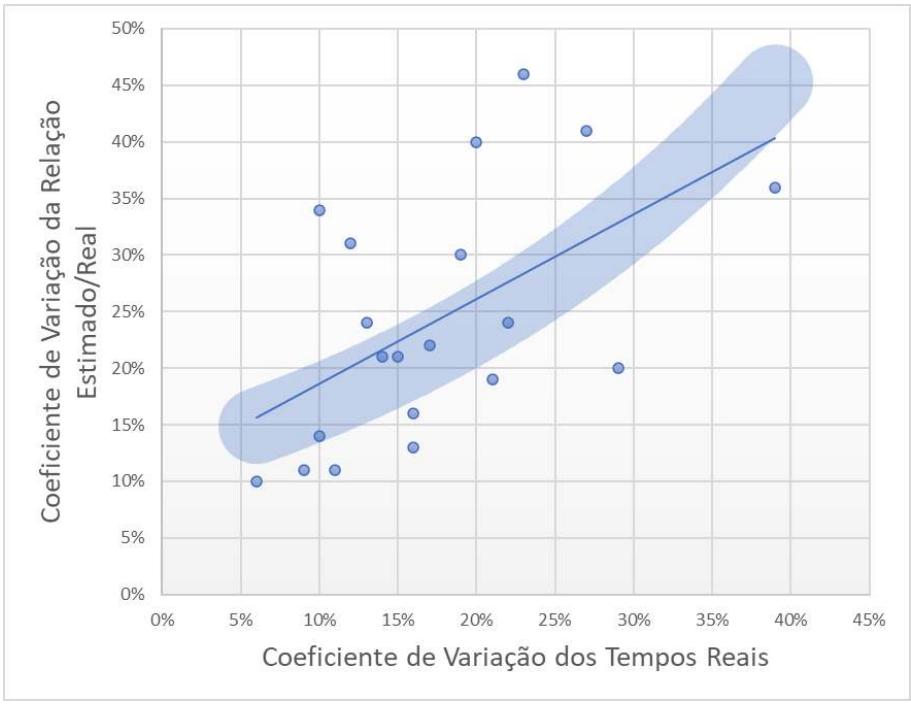
O gráfico 2 apresenta a relação entre a variabilidade dos tempos reais e a média dos tempos reais. A correlação apresentada traz subsídios para entender o gráfico anterior. Observa-se que, à medida que a média dos tempos reais diminui (eixo dos x) sua variabilidade também diminui (eixo dos y). Melhores desempenhos estariam associados a desempenhos menos variáveis, o que termina por propiciar melhores condições para sua previsibilidade.

Gráfico 2: Estabilidade do Processo vs. Eficiência



O gráfico 3 correlaciona aos dois coeficientes de variação aludidos no eixo dos Y dos gráficos 1 e 2. Observa-se que o coeficiente de variação médio dos tempos reais se situa em torno de 15% - 20%, enquanto o coeficiente de variação da relação estimado/real situa-se na faixa de 20 % - 25%. Assim, o processo de estimar é mais variável do que o processo de executar os somatórios. Esse resultado indica que as incertezas associadas à execução da tarefa são ampliadas quando incorporadas ao processo de previsão.

Gráfico 3: Correlação de Variabilidades: Desempenho vs. Estimativa

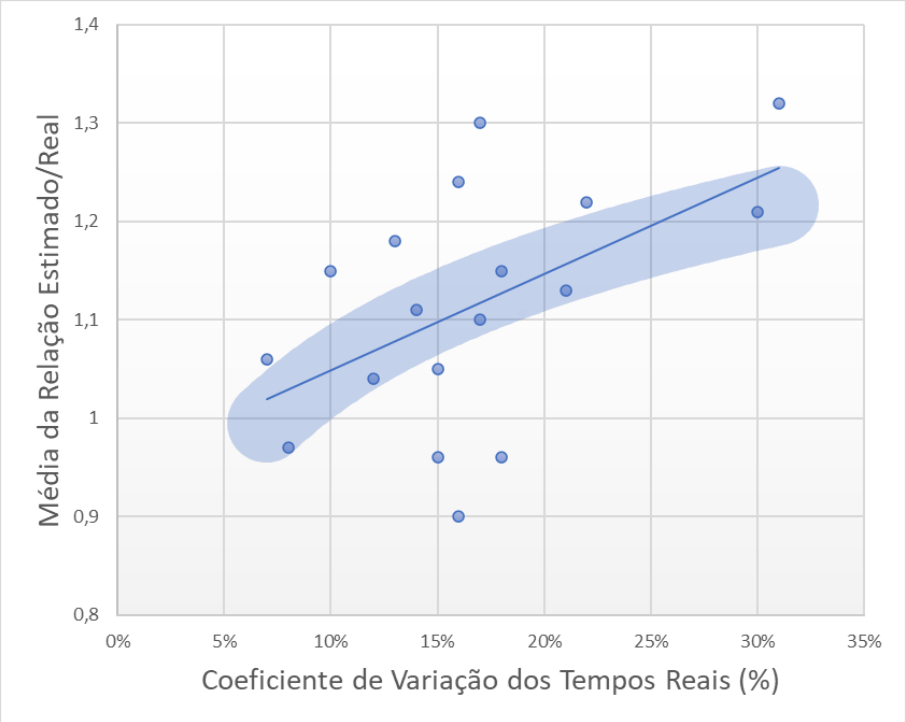


Esse comportamento reforça a interpretação de que a variabilidade relacionada a estimativa é potencializada por fatores adicionais relacionados a variabilidade do

desempenho. Observou-se também anteriormente que o aumento da produtividade, representado pela redução dos tempos médios, está associado a maior estabilidade do processo. Agora, maior variabilidade nos tempos reais está associada a maior variabilidade nas estimativas. Por outro lado, como sugerido pela mancha hachurada curva adicionada ao gráfico 3, maior variabilidade dos tempos reais (e por conseguinte médias de tempos reais elevadas - baixo desempenho) levariam a estimativas proporcionalmente cada vez mais erráticas. No limite, a porção inclinada da curva, aproximando-se da vertical, indicaria que diante de baixo desempenho (e consequente alta variabilidade de tempos reais) o processo de estimativa seria impraticável, pelo valor elevado dos coeficientes de variação do estimado em relação ao real.

Por fim, o Gráfico 4 apresenta a relação entre a média da relação entre os tempos estimados e os reais (eixo dos y) e o coeficiente de variação dos tempos reais (eixo dos x). Embora a correlação observada seja menos evidente, é possível identificar uma tendência na qual o aumento da variabilidade do desempenho está associado ao aumento da relação média entre estimado e real, ou seja, desempenho real inferior (anteriormente já correlacionado com sua maior variabilidade) estaria associado a estimativas cada vez mais pessimistas em relação ao valor que é possível alcançar. Esse comportamento sugere que participantes com desempenho mais variável tendem a incorporar folgas em suas estimativas, provavelmente como estratégia de compensação diante da incerteza. A mancha hachurada adicionada ao gráfico indica, de forma tentativa, que desempenhos melhores poderiam eventualmente estar associados a razões estimado/real inferiores a 1, sugerindo que participantes mais eficientes e estáveis tendem a ser mais confiantes — e, por isso, mais precisos ou até otimistas — em suas estimativas.

Gráfico 4: Relação Tempos Estimados/Tempos Reais e Estabilidade no Desempenho



CONCLUSÃO

O exercício de soma de números de três dígitos propõe-se a ilustrar uma visão estocástica diante do ensino mormente determinista em engenharia. Ao confrontar o participante com a variabilidade de seu próprio desempenho em uma tarefa simples, evidencia que a incerteza não é exceção, mas uma característica intrínseca de processos produtivos, que pode ser extrapolada para o contexto dinâmico de um canteiro de obras. A análise estatística dos dados revelou que o desempenho humano e a produtividade seguem padrões probabilísticos que precisam ser compreendidos para uma gestão eficaz da produção.

A relação entre produtividade e estabilidade operacional mostrou-se consistente nos resultados: quanto menor o tempo médio de execução (maior eficiência), menor o coeficiente de variação dos tempos reais. Para o futuro engenheiro, essa é uma lição relevante: a busca pela produtividade não deve focar apenas na velocidade, mas na redução da variabilidade, que é o que permite planejamento confiável e cumprimento de metas.

Além disso, o exercício evidenciou que a capacidade de estimativa é fortemente comprometida pela instabilidade operacional. Quando o desempenho é baixo e variável, a previsão de tempos prazos tende a ser imprecisa, com propensão à superestimativa — comportamento consistente com a incorporação de folgas de segurança para compensar a falta de controle

Em síntese, a atividade prepara o estudante para aceitar a variabilidade como característica intrínseca dos processos produtivos e compreender a necessidade de controlá-la. Apenas com a redução das oscilações nos fluxos de trabalho é possível orçar, programar e controlar obras com precisão. A experiência pedagógica propiciada pelo exercício serve como incentivo para a adoção de filosofias de gestão que priorizem a estabilização das atividades, transformando a incerteza em risco gerenciável. Os resultados confirmam e contextualizam, em ambiente acadêmico, achados da literatura sobre a relação entre variabilidade e produtividade em processos de construção [1][3].

Como limitações deste estudo, destacam-se o número reduzido de aplicações documentadas e a restrição a um único contexto de turma, o que limita a generalização dos resultados. Estudos futuros podem explorar: (a) a aplicação do exercício com número variável de colunas, parcelas e dígitos; (b) a criação de colunas com níveis diferenciados de complexidade (p.ex., dígitos pares ou zeros), permitindo explorar constantes unitárias análogas aos consumos de mão de obra em obras; (c) a realização de avaliações de aprendizagem antes e depois da atividade, a fim de mensurar objetivamente o ganho de compreensão dos participantes; e (d) a aplicação em contextos distintos, fora do ensino de graduação, como cursos técnicos ou treinamentos corporativos em canteiros de obras.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, o todos os autores utilizaram o Chat GPT para tradução, revisão, melhoria de coesão do texto. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] GRIMA, P.; RODERO, L.; TORT-MARTORELL, X. **Explaining the importance of variability to engineering students**. The American Statistician, v. 69, n. 3, p. 241-248, 2015.

[2] ROMANEL, F. B. et al. ***T*he spread of lean construction among workers in civil construction by the game "Challenging the Production"**. Journal of Small Business and Entrepreneurship Development, v. 2, n. 2, p. 107-119, jun. 2014.

[3] SALHAB, D. et al. **Accounting for variability: identifying critical activities as a supplement to the critical path**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 148, n. 5, p. 04022019, 2022.

[4] NEERAJ, A. et al. Framework linking lean simulation principles to their application on construction projects. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 24, 2016, Boston. **Proceedings** *[...]*. Boston: IGLC, 2016. p. 3-12.

[5] SEPPÄNEN, O.; BALLARD, G.; PESONEN, S. **The combination of last planner system and location-based management system**. Lean Construction Journal, p. 43-54, 2010.

[6] TOMMELEIN, I. D.; RILEY, D. R.; HOWELL, G. A. Parade game: impact of workflow variability on succeeding trade performance. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6., 1998, Guarujá. **Proceedings** *[...]*. Guarujá: IGLC, 1998.

[7] SAURIN, T. A.; SANCHES, R. C. **Lean construction and resilience engineering: complementary perspectives of variability**. [S. l.: s. n.], 2014.

[8] FENG, P. P.; BALLARD, G. Standard work from a lean theory perspective. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 16, 2008, Manchester. **Proceedings** *[...]*. Manchester: IGLC, 2008.