XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Considerações sobre o efeito aprendizagem em obras repetitivas

Learning effect in repetitive construction projects

Isatto, Eduardo L.
NORIE/UFRGS | Porto Alegre | Brasil | isatto@ufrgs.br
Reck, Raquel H.
NORIE/UFRGS | Porto Alegre | Brasil | raquelreck@gmail.com

Resumo
O incremento da produtividade dos operários a partir da aprendizagem é um fator amplamente reconhecido pelas empresas da construção. Todavia, os efeitos que podem ser esperados da aprendizagem em obras de natureza repetitiva são ainda pouco conhecidos, dada a intrincada interdependência entre equipes e atividades. O presente estudo combina simulação computacional e técnica da linha de balanço para buscar entender os efeitos da aprendizagem em obras repetitivas quando aos seus custos e prazos. Os resultados obtidos sugerem ganhos expressivos em relação aos custos, e de confiabilidade dos prazos de execução frente a variabilidade.

Palavras-chave: Aprendizagem. Curvas de aprendizado. Linha de balanço. Obras repetitivas. Produtividade.

Abstract
The increase in workers' productivity based on learning is a fact widely recognized by construction companies. However, the effects that can be expected from learning in construction projects of a repetitive nature are still poorly understood, given the intricate interdependence between teams and the activities they perform. The present study combines computer simulation and line of balance technique to seek to understand the effects of learning in repetitive construction projects regarding their costs and project duration. The results obtained suggest significant gains in terms of costs, and reliability of project duration in the face of variability.

Keywords: Learning. Learning curves. Line of balance. Repetitive construction projects. Productivity.

INTRODUÇÃO

Os ganhos de produtividade resultantes da repetição são um fenômeno amplamente aceito. À medida que cresce o número de repetições de uma atividade, diminuem o tempo e esforço necessários para sua execução [1], como resultado de um processo

Como citar:
ISATTO, E. L.; RECK, R. H. Considerações sobre o efeito aprendizagem em obras repetitivas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-14.

de aquisição de conhecimento e destreza por parte dos trabalhadores [2], comumente referido na literatura como “efeito aprendizado” ou “efeito aprendizagem”.

A repetitividade está presente em maior ou menor grau nos empreendimentos de construção, alguns em decorrência da sua própria natureza — tais como rodovias, ferrovias, redes de infraestrutura, etc. —, e outros para buscar explorar ganhos de escala, particularmente devido ao aumento de produtividade resultante dessa aprendizagem.

Por envolver a repetição de processos através de diversas unidades semelhantes, as obras de natureza repetitiva (ou obras repetitivas) compartilham de diversas características com a manufatura. Elas demandam a coordenação dos fluxos dos objetos do trabalho (processos) e dos fluxos dos sujeitos do trabalho (operações), em uma rede denominada por Shingo como Mecanismo Função Produção [3].

Essa intrincada interdependência entre processos e operações é uma das principais razões para o uso de técnicas de programação linear para o planejamento desses empreendimentos, como a Linha de Balanço (LB) [4][5][6].

Um dos pressupostos que fundamenta a técnica da LB é a que a taxa de produção de uma atividade é uniforme temporalmente [4], o que conflita fundamentalmente com a expectativa de ganhos em virtude da repetição, ou seja, taxas de produção que aumentam enquanto cresce a quantidade produzida. Tal conflito leva ao questionamento dos reais ganhos que podem ser esperados em obras repetitivas a partir do efeito aprendizado. Apesar da relevância dessa questão, poucos são os trabalhos anteriores dedicados a estudar os efeitos da aprendizagem em obras de natureza repetitiva [4][5][7]. Tendo isto em vista, o objetivo deste artigo é discutir qualitativamente os benefícios que podem ser esperados a partir da consideração da aprendizagem em obras repetitivas.

REVISÃO DA LITERATURA

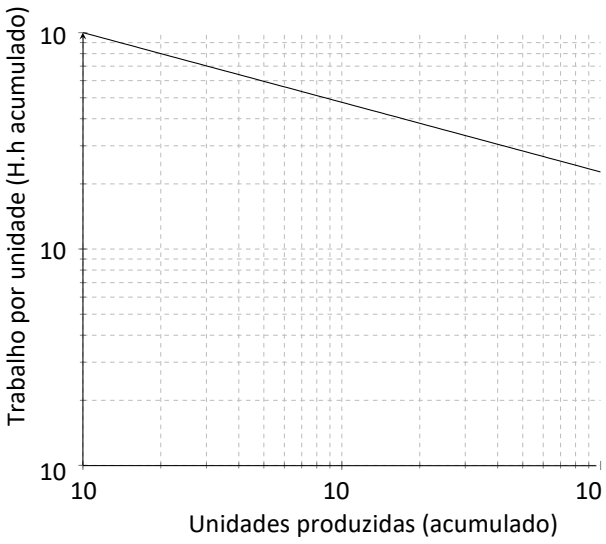
APRENDIZADO A PARTIR DA REPETIÇÃO

A teoria da aprendizagem teve sua origem em 1936, como resultado do trabalho de T. P. Wright [8]. A partir desse trabalho, diversos autores tem se dedicado a explicar esse fenômeno e identificar os fatores que influenciam o aprendizado a partir da repetição, descrito por modelos matemáticos propostos com a finalidade de explicar e predizer os ganhos de produtividade como resultado desse aprendizado [2]. Tais modelos são expressos através de curvas de aprendizado, que representam os ganhos de produtividade em relação ao número de repetições.

O primeiro modelo matemático para curva de aprendizado foi proposto por Wright [8], sendo conhecido como modelo de Wright ou modelo potencial (“*straight-line power model*”). Esse modelo sustenta que o custo unitário médio (em horas trabalhadas, horas, unidades monetárias, etc.) de um produto irá diminuir em certo percentual em relação ao custo unitário médio anterior cada vez que dobrar a quantidade produzida [1]. O modelo de Wright considera que esse percentual de

redução do custo — denominado “taxa de aprendizagem” — não varia segundo o número de repetições. Desta forma, a variação do custo médio por unidade em função do número de repetições assume a forma de uma reta, quando utilizado um gráfico logarítmico (log-log), como mostra a Figura 1.

Figura 1: Modelo de Wright ou Modelo Potencial, para uma taxa de aprendizagem de 80%



Fonte: baseado em Thomas, Mathews e Ward, 1986 [1]

O conceito de taxa de aprendizagem é de fácil compreensão. Na Figura 1, a título de exemplo, uma taxa de aprendizagem de 80% relacionada a uma atividade que demanda 100 homens-horas resultará em uma redução para 80 homens-horas na segunda repetição, 64 homens-horas (=80*0,8) na quarta repetição, e assim sucessivamente. Por outro lado, uma taxa de aprendizagem 100% significa que não haverá aprendizagem.

A aplicação do modelo de Wright permite determinar o custo ou tempo necessário esperado para a produção da n-ésima unidade, a partir de uma taxa de aprendizagem “S” (percentual), dada por [1]:

$$Y_n = K \cdot X^n \quad (1)$$

onde: K é o custo ou tempo necessário para a primeira unidade executada, e
n é o índice de aprendizado (= log S/ log 2), correspondendo à inclinação da reta

A capacidade de antecipar os ganhos de produtividade e incluí-los nas propostas e planos de execução é um fator fundamental para a competitividade das empresas de construção [4], o que se reflete na importância da escolha do modelo de curva a ser adotado em tais estimativas. Embora simples, o modelo da linha reta (ou modelo de Wright) é um dos mais utilizados dentre os modelos disponíveis para prever os ganhos de produtividade em obras de construção [9][4].

Na construção civil, a teoria de aprendizagem tem sido aplicada não somente para antecipar eventuais ganhos de produtividade e custos, mas também para entender seus reflexos quanto aos prazos de execução dos empreendimentos. Thomas [10] afirma que muitas disputas contratuais em obras de construção se apoiam na teoria

da aprendizagem para explicar atrasos ou acréscimos de custos decorrentes de interrupções por causas externas.

Diversos estudos tratam dos efeitos da aprendizagem em empreendimentos da construção, tanto no que diz respeito ao esforço produtivo (custo) como à duração das atividades e do empreendimento [1][4][5][7][9][11][12][13][14][15]. De uma forma geral, tais estudos adotam como abordagens metodológicas estudos de caso de obras de construção, buscando descrever ou explicar esses efeitos, ou o desenvolvimento de soluções analíticas e de simulação computacional, para predizê-los. Todavia, raros são os estudos que consideram explicitamente os reflexos da aprendizagem em obras repetitivas a partir de técnicas de programação linear, especificamente a LB, seja quanto ao esforço (ou custo) dispendido, seja quanto ao prazo de execução.

A PRODUÇÃO DE OBRAS REPETITIVAS

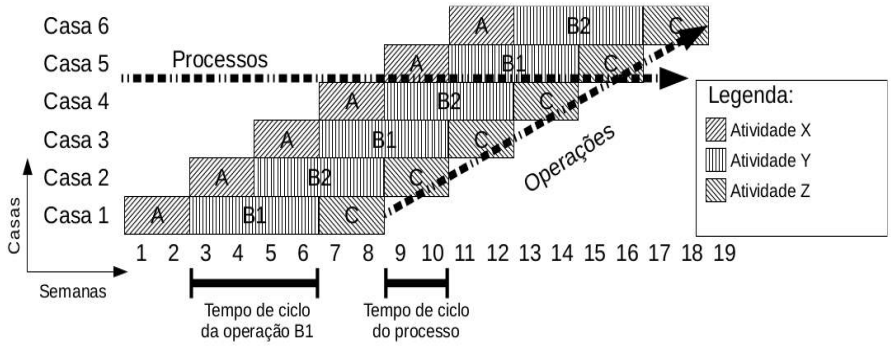
Em sistemas de produção seriada, como na manufatura, as atividades que compõe o processo produtivo e os recursos empregados estão condicionados a uma rede de interdependências. A capacidade produção de um sistema produtivo está invariavelmente condicionada à capacidade do recurso produtivo de menor capacidade, o "gargalo" do sistema [16]. Como consequência, qualquer quantidade produzida além da taxa de produção do gargalo apenas resulta em estoque em processo [16]. Em razão disto, os autores Goldratt e Cox [16] recomendam que o ritmo de produção de todo o sistema seja condicionado ao ritmo de seu gargalo (chamado de "tambor"), subordinando todas as atividades do sistema a essa taxa de produção. Em um empreendimento de construção, tal recomendação se traduz na adoção de um mesmo ritmo para todas as atividades, através de uma LB com atividades perfeitamente balanceadas.

Eles chamam atenção para os efeitos negativos da variabilidade na presença de eventos dependentes, o que tende a amplificar tais efeitos no sistema de produção [16]. Variabilidade, aqui empregada no contexto estatístico, se refere à dispersão dos resultados de um processo. Como aqueles autores demonstram, a redução da variabilidade é a estratégia mais eficaz para melhorar a produtividade de um sistema.

Todavia, a completa eliminação da variabilidade é apenas um ideal, já que existe sempre alguma variabilidade residual com a qual se precisa lidar. Para tanto, é necessário recorrer a excesso de capacidade ou estoques intermediários [16]. A primeira invariavelmente se reflete em custos (esforços) adicionais, ao passo que a segunda resulta em maiores prazos de execução (tempo de atravessamento do processo).

Os aspectos acima se aplicam também aos sistemas de produção de obras repetitivas. A partir do uso da LB, Isatto e Zuchetti [6] discutem os efeitos dessas interdependências nas obras repetivas, demandando estreita coordenação entre processos e operações, principalmente através do ritmo de produção adotado (Figura 2).

Figura 2: Processos e operações em um diagrama de linha de balanço



Fonte: Isatto e Zuchetti, 2014 [6]

Poucos são os estudos que investigam o efeito aprendizagem combinado com obras de natureza repetitiva. Um destes foi realizado por Ariditi, Tokdemir e Suhr [4], no qual os autores recorrem à LB para considerar as dependências entre atividades na presença do efeito aprendizagem. Todavia, aquele estudo apresenta algumas limitações significativas:

a) São empregadas atividades com taxas de produção distintas, resultando em prazo maior do que aquele que seria obtido condicionando-se a taxa de produção das atividades ao "gargalo" de produção (taxas de produção balanceadas);

b) Os aumentos nas taxas de produção são contínuos, mas escalonados, condicionados à possibilidade de retirada de trabalhadores da equipe em virtude dos ganhos pela aprendizagem; e

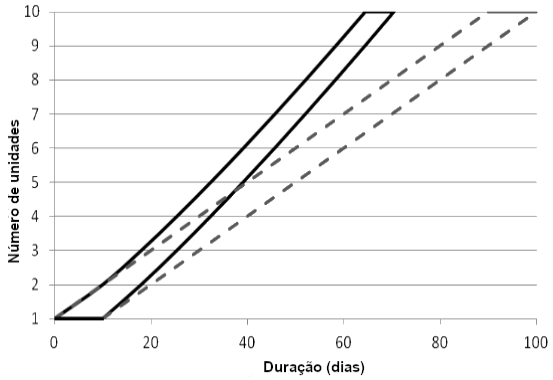
c) A melhora no desempenho do sistema quanto ao prazo de execução decorrente da aprendizagem se confunde pelo progressivo balanceamento da taxa de produção entre as atividades, decorrente da redução de algumas equipes.

Outro mais recente, realizado por Zahran, Nour e Hosny [7], adota uma abordagem distinta. Nele, os ganhos de produtividade pela aprendizagem não são escalonados, mas se traduzem imediatamente — a cada repetição — na redução da duração da atividade. Este comportamento parece mais fiel ao cenário onde as equipes utilizam o ganho de prazo de uma atividade em uma unidade-base para iniciar mais cedo a unidade-base seguinte. A Figura 3 mostra e resultado do reflexo imediato do efeito aprendizagem. Todavia, esse estudo tem como limitação importante considerar apenas uma atividade, portanto avaliar as dependências entre atividades repetitivas consecutivas.

A partir desses estudos, surge a questão: em uma obra de natureza repetitiva, composta por diversas atividades de mesmo ritmo e onde o efeito aprendizagem é imediatamente traduzido na redução da sua duração, que consequências podem ser esperadas em termos do esforço (custo) e do prazo de execução? Ainda, visto que ganhos de produtividade podem ser eventualmente traduzidos em maior capacidade,

pode-se esperar algum efeito da aprendizagem no sentido de tornar o sistema de produção mais robusto quanto à variabilidade do esforço e do prazo?

Figura 3: Programação pela linha de balanço antes e depois de considerado o efeito aprendizagem



Fonte: Zahran, Nour e Hosny, 2016 [7]

MÉTODO DE PESQUISA

O método empregado foi de simulação computacional de elementos discretos (*Discrete Event Simulation* — DES), com o emprego de cenários que representam a combinação de dois fatores investigados, sendo o primeiro a presença ou não do efeito aprendizagem, e o segundo a presença ou não de variabilidade. Os quatro cenários possíveis a partir da combinação desses fatores é mostrado no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1: Cenários estudados

	Sem aprendizagem	**Com aprendizagem**
Sem variabilidade	A	B
Com variabilidade	C	D

Fonte: os autores.

Em todos esses cenários foi considerado um mesmo empreendimento composto por 20 unidades, que emprega um processo produtivo de 10 atividades. Todas atividades possuem o mesmo tempo de execução e uma mesma taxa de produção. Neste estudo, tanto o tempo de execução das atividades como o tempo de ciclo foi arbitrado em 5 dias.

O cenário A é o mais simples e conhecido, correspondendo à solução analítica dada pela equação:

$$D_T = D_U + (n-1) \times t_C \qquad (2)$$

onde: DT = duração total do empreendimento
DU = duração da unidade-base
n = número de repetições
tC = tempo de ciclo

Nos cenários B e D, o efeito da aprendizagem foi introduzido com a utilização do modelo de Wright, o qual foi escolhido pela sua simplicidade e eficácia para representar os efeitos de natureza qualitativa investigados no presente estudo [1]. O fator de aprendizagem considerado foi de 95%, que equivale a uma redução de 5% na duração da atividade cada vez que dobra o número de repetições.

Nos cenários com variabilidade (cenários C e D), considerou-se que a duração da atividade pode ser expressa por uma distribuição triangular, com grande aceitação para simulação de tempos de duração na construção civil, particularmente pela assimetria buscada dos resultados em relação à moda. Nos cenários estudados, a distribuição triangular adotou como moda o tempo previsto, e como tempos mínimo e máximo os valores de 90% e 130% do tempo previsto para a repetição da atividade, respectivamente. Para o cenário C foi adotado como tempo previsto 5 dias, o mesmo adotado no cenário A (sem aprendizagem e sem variabilidade). No cenário D, foi adotado como tempo previsto para cada repetição de uma atividade o valor correspondente do cenário B (sem variabilidade e com aprendizagem).

O modelo de simulação foi desenvolvido em duas fases: a elaboração e avaliação do modelo conceitual, e a elaboração e teste do modelo computacional [17].O modelo conceitual empregado para a simulação foi avaliado primeiramente em relação ao resultado analítico (para o cenário A), e posteriormente em relação a um modelo elaborado através de planilha eletrônica (para o cenário B, incluindo o efeito aprendizagem) [17]. Em ambos os casos, os resultados obtidos foram consistentes com aqueles esperados.

A seguir, foi elaborado o modelo computacional, com o emprego da linguagem python[1] e da biblioteca SimPy[2], esta última voltada especificamente para a simulação por eventos discretos. Assim como o modelo conceitual, o modelo computacional foi também validado em relação às soluções determinísticas por meio da solução analítica (Equação 2 *versus* cenário A) e por planilha eletrônica (Equação 1 *versus* cenário B).

O mesmo modelo foi utilizado para os cenários com variabilidade (C e D), cada um deles considerando 1000 simulações, em cada uma das quais as durações das atividades foram determinadas pela da aplicação da distribuição triangular anteriormente descrita.

As variáveis de resposta utilizadas nas simulações foram a **duração total do empreendimento** e o **esforço de produção**, este último adotado como uma medida indireta de produtividade e custo. O esforço de produção foi obtido pela soma dos tempos de execução de todas as atividades necessárias à execução do empreendimento. Por simplificação, foi considerado o emprego de apenas um trabalhador na execução de cada uma das atividades, de maneira que o tempo obtido se traduz em homens-dias necessários para a execução do empreendimento.

1 http://www.python.org

2 https://simpy.readthedocs.io

As diversas simplificações adotadas se justificam pela natureza qualitativa do estudo realizado, visto que o interesse principal é identificar o comportamento do sistema de produção frente aos dois fatores investigados (efeito aprendizagem e variabilidade). Também não houve maior preocupação em definir um intervalo de confiança, tendo sido adotados parâmetros arbitrários para a distribuição triangular empregada.

RESULTADOS

EFEITO DA APRENDIZAGEM SOBRE A DURAÇÃO

Sem consideração de variabilidade

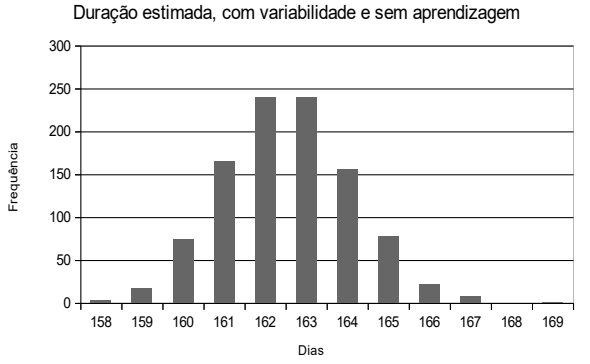
O primeiro cenário (cenário A), utilizado também para validar o modelo de simulação, a duração total do empreendimento foi de 145 dias, valor corroborado pela aplicação da solução analítica apresentada na Equação 1.

Já no cenário B, a presença do efeito da aprendizagem resultou na redução da duração total do empreendimento de 135,1 dias.

Com consideração de variabilidade

No cenário sem aprendizagem e com variabilidade, os resultados obtidos para a duração variaram entre 157,6 e 167,2 dias, com valor médio de 162,5 dias. Um histograma dos resultados relativos à duração total do empreendimento é apresentado na Figura 4.

Figura 4: Duração da obra repetitiva com consideração de variabilidade, e sem aprendizagem

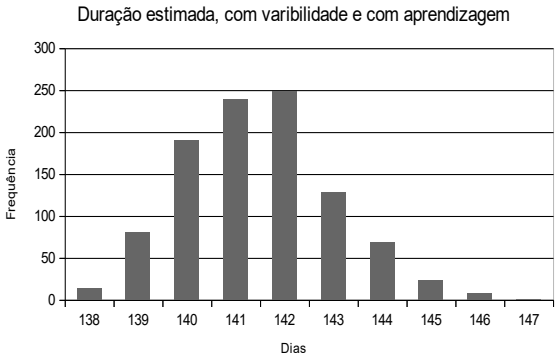


Fonte: os autores.

No cenário com aprendizagem e com variabilidade, a duração das atividades tomou por base o tempo previsto a duração encontrada com aprendizagem e sem variabilidade (cenário B), sendo então aplicada a distribuição triangular como explicado anteriormente.

Os resultados obtidos variaram entre 136,7 e 145,8 dias, com valor médio de 141,4 dias. Um histograma dos resultados relativos à duração total do empreendimento é apresentado na Figura 5.

Figura 5: Duração da obra repetitiva com consideração de variabilidade, e com aprendizagem



Fonte: os autores.

Discussão dos efeitos da aprendizagem sobre a duração de obras repetitivas

No Quadro 2 é apresentado um comparativo dos resultados de duração do empreendimento para cada um dos cenários investigados nas simulações.

Quadro 2: Efeitos da aprendizagem sobre o prazo do empreendimento

	Sem aprendizagem	**Com aprendizagem**
Sem variabilidade	(A) 145 dias	(B) 130,1 dias
Com variabilidade	(C) 162 dias	(D) 141,5 dias

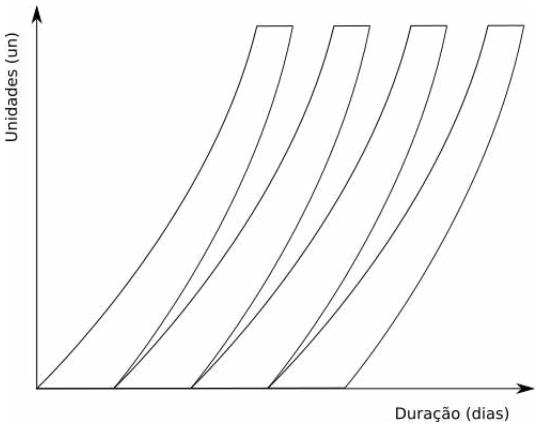
Fonte: os autores.

Como pode ser observado, tanto nos cenários com variabilidade como nos cenários sem variabilidade houve uma redução expressiva da duração do prazo quando considerada a presença da aprendizagem. Nos cenários sem variabilidade, a redução em consequência da aprendizagem foi de 14,9 dias, ao passo que nos cenários com variabilidade essa redução é ampliada para 21 dias, sugerindo que os ganhos mais expressivos do efeito aprendizagem quanto ao prazo ocorrem quando é considerada a presença de variabilidade.

No caso específico dos cenários considerados, a aprendizagem se mostrou capaz de neutralizar integralmente os efeitos da variabilidade, como mostra a comparação das durações dos cenários A e D — de 145 e 141,5 dias, respectivamente.

Buscando melhor compreensão sobre as causas desta interrelação, foi conduzida uma análise mais detalhada dos resultados obtidos nas simulações dos cenários B e D, comparando-se *vis-a-vis* as datas de fim das atividades com as datas de início das atividades subsequentes. Tal análise evidenciou o surgimento de folgas cada vez maiores entre essas atividades, à medida que cresce o número de repetições. Uma representação conceitual deste fenômeno é apresentada na Figura 6, que consiste numa extensão do estudo realizado por Zahran, Nour e Hosny [7] (Figura 3).

Figura 6: Representação conceitual do efeito da aprendizagem sobre as atividades de uma obra repetitiva



Fonte: os autores.

Como pode ser observado nessa figura, enquanto aumenta a produtividade devido à aprendizagem, as durações das atividades vão sendo reduzidas, o que se reflete na criação de folgas em relação às atividades subsequentes. Assim, os ganhos de produtividade obtidos através da aprendizagem são, na verdade, convertidos em maior capacidade. Dada a impossibilidade de antecipação da atividade posterior, este excesso de capacidade acaba revertendo em folga a jusante da atividade.

De fato, o efeito da variabilidade é bem menos severo nos cenários com aprendizagem (B e D) do que nos cenários sem aprendizagem (A e C). Quando se considera a presença da aprendizagem, o incremento da duração é de 11,4 dias, ao passo que nos cenários sem aprendizagem esse incremento foi 49% maior, de 17 dias.

Estas evidências sugerem que o principal efeito da aprendizagem quanto ao prazo das obras repetitivas não seja quanto à redução do mesmo, mas sim em torná-las mais robustas quanto à variabilidade das durações das atividades, influenciando positivamente a confiabilidade desses prazos.

EFEITO DA APRENDIZAGEM SOBRE A PRODUTIVIDADE

Sem consideração de variabilidade

No cenário sem variabilidade e sem aprendizagem (cenário A), o trabalho total demandado pela execução do empreendimento foi de 1000 homens-dias, equivalendo à média de 50 homens-dias por unidade.

Já no cenário B, com a consideração da aprendizagem e sem variabilidade, a simulação resultou em 856,51 homens-dias de esforço total, com uma média de 42,83 homems-dias por unidade. Com isto, o ganho de produtividade resultante da aprendizagem foi de 16,75%, como demonstrado pela equação (3) abaixo:

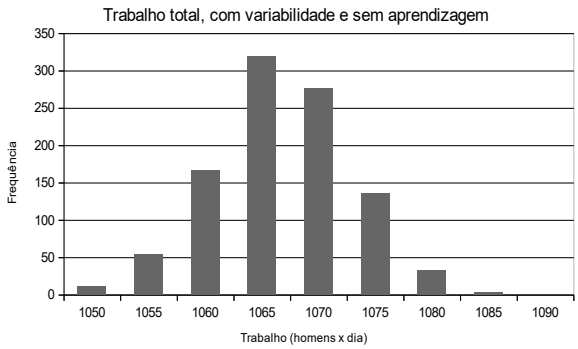
$$\Delta P = \frac{\frac{20}{856{,}51}}{\frac{20}{10000}} - 1 = 0{,}1675 \qquad (3)$$

Com consideração de variabilidade

No cenário C, foram estudados os efeitos da variabilidade sem a presença de aprendizagem. Nas mesmas simulações realizadas para a análise dos efeitos sobre o prazo, foram também coletados dados sobre o esforço de produção total em cada uma das 1000 simulações.

Com a inclusão da variabilidade, o esforço de produção variou entre 1049,2 homens-dias e 1084,5 homens-dias, e um esforço médio de 1066,8 homens-dias. Cada unidade demandou 53,34 homens-dias para sua produção. A distribuição dos resultados é mostrada no histograma da Figura 7.

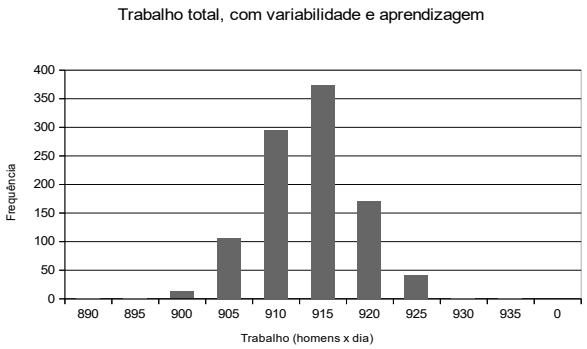
Figura 7: Esforço de produção da obra repetitiva com consideração de variabilidade, e sem aprendizagem



Fonte: os autores.

Para cenário com variabilidade e com a presença de aprendizagem (cenário D), o esforço total de produção variou entre 892,2 homens-dias e 933,4 homens-dias, com valor médio de 913,6 homens-dias, o que equivale a um esforço médio de 45,68 homens-dias por unidade produzida. A distribuição dos resultados é mostrada no histograma da Figura 8.

Figura 8: Esforço de produção da obra repetitiva com consideração de variabilidade, e com aprendizagem



Fonte: os autores.

Discussão dos efeitos da aprendizagem sobre a produtividade de obras repetitivas

A comparação entre os resultados obtidos para o esforço de produção nos quatro cenários estudados (Quadro 3) possibilita diversas conclusões.

Quadro 3: Efeitos da aprendizagem sobre o esforço de produção do empreendimento

	Sem aprendizagem	Com aprendizagem
Sem variabilidade	(A) 1000 homens-dias	(B) 856,6 homens-dias
Com variabilidade	(C) 1066,8 homens-dias	(D) 913,6 homens-dias

Fonte: os autores.

Como mostra o Quadro, fica evidente que a aprendizagem resulta numa redução expressiva no esforço total de produção. Além disto, tal redução é basicamente a mesma tanto entre os cenários sem variabilidade (A e B) como entre os cenários com variabilidade (C e D): 14,35% no esforço total de produção. Isto sugere que os ganhos relativos à aprendizagem não sejam significativamente afetados pela presença de variabilidade, no que se refere ao esforço total de produção.

Ainda, o aumento de esforço de produção resultante da variabilidade não parece ser significativamente influenciado pela aprendizagem. Entre os cenários C e A, houve um aumento de 6,7% no esforço requerido para a produção, o que equivale a uma redução de 6,3% na produtividade global (aplicando a Equação 3). Números muito semelhantes são encontrados quando se compara os cenários com aprendizagem (cenários D e B)

Quando se comparam os esforços empregados nos cenários A e D, pode-se observar que a consideração da aprendizagem superou com vantagem os efeitos negativos da variabilidade, face aos valores dos parâmetros empregados nas simulações.

CONSIDERAÇÕES SOBRE O EFEITO DA APRENDIZAGEM EM OBRAS REPETITIVAS

O presente estudo demonstrou que os efeitos da aprendizagem sobre a duração e produtividade de obras repetitivas são amplamente favoráveis, porém de intensidade e natureza distintas quando se considera a presença de variabilidade.

No que se refere ao prazo de execução, os resultados obtidos sugerem que os benefícios da aprendizagem sejam majoritariamente relacionados com a proteção do sistema de produção frente a variabilidade, e secundariamente relacionados com a redução do prazo. Isto porque a interdependência entre processo e operações impede que os ganhos de produtividade sejam integralmente convertidos na antecipação das atividades subsequentes, resultando em folgas entre as atividades do processo. Exatamente devido a estas folgas, o efeito aprendizagem em obras repetitivas torna-as mais robustas quanto à confiabilidade de prazos.

No que diz respeito ao esforço de produção e à produtividade global, os efeitos da aprendizagem são igualmente benéficos, tanto em cenários com variabilidade como em cenários onde sua presença não é considerada. As reduções nas durações das atividades não implicam na interrupção do trabalho das equipes, sendo elas integralmente convertidas em ganhos de produtividade global, existindo ou não variabilidade.

REFERÊNCIAS

[1] THOMAS, H. R.; MATHEWS, C. T.; WARD, J. G. Learning Curve Models of Construction Productivity. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 112, p. 245–258, Jun. 1986. DOI 10.1061/(ASCE)0733-9364(1986)112:2(245).

[2] ANZANELLO, M. J.; FOGLIATTO, F. S. Curvas de aprendizado: estado da arte e perspectivas de pesquisa. **Gestão & Produção**, v. 14, p. 109–123, 2007.

[3] SHINGO, S. **Non-stock production: The Shingo system form continuous improvement.** New York, NY: Productivity Press, 1988.

[4] ARDITI, D.; TOKDEMIR, O. B.; SUH, K. Effect of learning on line-of-balance scheduling. **International Journal of Project Management**, v. 19, p. 265–277, Jul. 2001. DOI 10.1016/S0263-7863(99)00079-4

[5] ARDITI, D.; TOKDEMIR, O. B.; SUH, K. Challenges in Line-of-Balance Scheduling. Journal of **Construction Engineering and Management**, v. 128, p. 545–556, 2002. DOI 10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:6(545)

[6] ISATTO, E. L.; ZUCHETTI, M. Aplicação do mecanismo da função produção ao planejamento da produção seriada na construção. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **[Anais...]** Maceió, AL, Marketing Aumentado, Nov. 2014. DOI 10.17012/entac2014.519

[7] ZAHRAN, K.; NOUR, M.; HOSNY, O. The effect of learning on line of balance scheduling: Obstacles and potentials. **International Journal of Engineering Science**, v. 6, p. 3831–3841, 2016. DOI 10.4010/2016.889

[8] WRIGHT, T. P. Factors Affecting the Cost of Airplanes. **Journal of the Aeronautical Sciences**, v. 3, p. 122–128, Feb. 1936.

[9] EVERETT, J. G.; FARGHAL, S. Learning Curve Predictors for Construction Field Operations. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 120, p. 603–616, Sep. 1994. DOI 10.1061/(asce)0733-9364(1994)120:3(603)

[10] Thomas, H. R. Construction Learning Curves. **Practice Periodical on Structural Design and Construction**, v. 14, p. 14–20, Feb. 2009. DOI 10.1061/(asce)1084-0680(2009)14:1(14)

[11] FARGHAL, S. H.; EVERETT, J. G. Learning Curves: Accuracy in Predicting Future Performance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 123, p. 41–45, 1997. DOI 10.1061/(ASCE)0733-9364(1997)123:1(41)

[12] MARCHIORI, F. F. **Estudo da produtividade e da descontinuidade no processo produtivo da construção civil: Um estudo de caso para edifícios altos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

[13] OLIVEIRA, R. R.; DALL'OGLIO, S.; MARTINI, C. E. Estudo de fatores que afetam a produtividade em obras repetitivas. VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** 1998.

[14] LEITE, M. O. **A utilização das curvas de aprendizagem no planejamento da construção civil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

[15] MÁLYUSZ, L.; VARGA, A. An Estimation of the Learning Curve Effect on Project Duration with Monte Carlo Simulation. **Periodica Polytechnica Architecture**, v. 49, p. 66–71, 2018. DOI 10.3311/PPar.12759

[16] GOLDRATT, E. M.; COX, J. **The Goal: A Process of Ongoing Improvement.** 3rd. ed. Great Barrington, MA: North River Press, 2004.

[17] ROBINSON, S. **Simulation: the practice of model development and use.** Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, 2004.