

Aplicação da Curva de Aprendizagem na previsão da capacidade de produção

Arthur Kreling Ozório, João Paulo Dutra Kreling, José Ângelo Ferreira

Resumo: A Curva de Aprendizagem é conhecida como um método descrever a capacidade de aprendizagem de uma organização. Esta pesquisa tem como propósito central, investigar o impacto do processo aprender na capacidade de um centro de trabalho. A pesquisa valeu-se de um estudo de caso que foi aplicado no setor de costura de uma indústria de móveis da cidade de Arapongas no Paraná, que contrata operadoras temporárias para suprir um período de aumento de demanda. O modelo definido através do coeficiente de determinação R^2 , foi o Modelo de Curva de Aprendizagem de Wright. Este estudo aplica o modelo exponencial de Wright como uma referência para construir a curva de aprendizagem, modelar e calcular a taxa de aprendizagem das operadoras contratadas do setor investigado e foi utilizado para calcular a capacidade do setor, levantando também, para comparação, o tempo de produção definido pelo método da cronoanálise. Os estudos mostraram através dos resultados obtidos, que a capacidade prevista do setor, definida pelo método tradicional, sem considerar o processo de aprender, é inferior à capacidade necessária para atender a demanda prevista e que, aplicar o conceito da Curva de Aprendizagem, permite a empresa, uma melhor acurácia na programação da produção.

Palavras chave: Curva de Aprendizagem, Produtividade, Programação da Produção.

Learning Curve application in predicting production capacity

Abstract: The Learning Curve is known as a method to describe the learning ability of an organization. This research aims to investigate the impact of the learning process on the capacity of a work center. The research was based on a case study that was applied in the sewing sector of a furniture industry in the city of Arapongas in Paraná, which hires temporary operators to supply a period of increased demand. The model defined by the coefficient of determination R^2 was the Wright Learning Curve Model. This study applies Wright's exponential model as a reference to construct the learning curve, to model and calculate the learning rate of the contracted operators in the investigated sector and was used to calculate the sector capacity, also raising, for comparison, the production defined by the chronoanalysis method. Studies have shown through the results obtained that the expected capacity of the sector, defined by the traditional method, without considering the learning process, is lower than the capacity required to meet the expected demand and that, applying the Learning Curve concept, allows the company, better accuracy in production scheduling.

Keywords: Learning Curve, Productivity, Production Programming

1. Introdução

Existem instaladas no Brasil, 20 mil indústrias de móveis distribuídas em todo o território nacional, empregando 278 mil trabalhadores, com uma produção anual de 430 milhões de peças, sendo 76% desta produção, majoritariamente de produtos padronizados e apesar de ser a principal fornecedora do mercado nacional, vem enfrentando nestas últimas décadas, uma crescente participação de produtos fabricados na China (IEMI, 2017).

Para enfrentar a grande competitividade, as indústrias de móveis buscam estratégias para aumentar sua produtividade e aumentar sua participação no mercado, seja através da qualidade de seus produtos, quanto no uso eficaz dos recursos humanos.

Uma das características deste segmento é a sazonalidade da sua demanda, que sofre um aumento significativo entre os meses de setembro e fevereiro, fazendo com que as indústrias moveleiras, visando atender os picos de alta demanda, contratem para este período, trabalhadores temporários.

A Indústria estudada, pertencente ao Polo Moveleiro de Arapongas, contrata para o centro de trabalho de costura de encosto de cadeiras, trabalhadoras temporárias sem experiência prévia no produto e no processo, por um período de 6 meses, sem contudo, dispor de informações, que possibilitem modelar a performance destas operadoras recém contratadas, para o atingimento das metas de produção definidas para este centro. Sendo assim, o cerne desta pesquisa, está no estudo do desempenho destas operadoras, através da aplicação da teoria da curva de aprendizagem.

Os primeiros estudos sobre curvas de aprendizagem se deram em 1936, pelo engenheiro americano Theodore Wright, que desenvolveu, a partir de seus estudos realizados no processo de montagem de aviões, um método capaz de avaliar e descrever o desempenho de trabalhadores submetidos a tarefas repetitivas.

Wright constatou que o desempenho de uma tarefa tende a melhorar conforme a tarefa é repetida até que o máximo da performance seja alcançada, desde então, a Curva de Aprendizagem passou a ser um tópico estudado pela Engenharia de Produção, para prever e analisar o desempenho individual de trabalhadores e de grupos, formulação de estratégia industrial, programação da produção, produção de protótipos, tempos e métodos, terceirizações, subcontratações e previsão de custos, tendo se estendido também em campos como a medicina, forças armadas, economia, educação e treinamentos entre outros (Wright, 1936).

Esta pesquisa, é um estudo empírico do modelo de curva de aprendizagem de Wright aplicada no setor de costura de encosto de cadeira, que tem como objetivo, através da determinação da curva de aprendizagem individual das operadoras recém contratadas e do setor estudado e baseado na informação da curva de aprendizagem, possibilitar a empresa: identificar a performance das operadoras e do centro de trabalho, projetar quantos dias serão necessários para que as operadoras atendam a demanda do período e quantas operadoras serão necessárias para atingir a meta da empresa.

O restante deste artigo está estruturado da seguinte forma: o tópico 2 traz uma breve revisão a literatura sobre Curva de Aprendizagem; o Tópico 3 o método utilizado; o Tópico 4 os resultados e discussão e o Tópico 5 apresenta a conclusão.

2. Revisão da literatura

As curvas de aprendizagem são modelos matemáticos da performance de um trabalhador, quando submetido a uma atividade manual repetitiva (TEPLITZ, 1991). Conforme essas repetições são realizadas, o trabalhador demanda menos tempo para efetuar a tarefa, seja pela familiaridade que adquiriu em relação aos meios de produção, adaptação às ferramentas utilizadas ou descoberta de atalhos para o cumprimento da mesma. Essas mesmas curvas

também são capazes de calcular a redução de custo de um produto em razão do progresso da produção.

O modelo de Wright é também denominado de “modelo potencial” e é o pioneiro quando se trata do estudo das curvas de aprendizagem. Elas foram desenvolvidas de forma empírica através da observação da montagem de aviões durante a Primeira Guerra Mundial; Wright verificou a redução dos custos de algumas peças produzidas a partir da coleta de dados. (ANZANELLO & FOGLIATTO, 2007)

A partir desses dados, Wright (1936) enumerou os fatores que influenciavam a variação do custo na produção e montagem dos aviões. Fatores como design, tipo de construção utilizada, matérias-primas, ferramentas, alterações no projeto, tamanho dos aviões e quantidade produzida foram analisados quantitativamente a fim de se determinar seu poder de influência dentro do custo final do produto.

Segundo Wright (1936), o uso de ferramentas mais eficazes no processo de soldagem das peças dos aviões garante um ganho maior para o fabricante, pois gera um preço relativamente menor quando é levada em conta a fabricação em larga escala. Outra variação que se torna efetiva quando se trata da produção em larga escala é o tipo de construção monocoque, considerando o ponto de vista estrutural e econômico.

O autor também desenvolveu as curvas de produção, relacionando o custo de cada unidade com a quantidade de unidades produzidas, e embutindo nessas curvas os fatores de variação analisados anteriormente. A partir da formulação dessas curvas, Wright (1936) observou a ação das variáveis no comportamento dos gráficos.

Wright (1936, p. 124) determinou que “a suscetibilidade de determinado tipo de construção ao uso de ferramentas no processo é importante para conhecer a inclinação da curva de produção”. Determinou ainda que o custo da matéria-prima é menor quando se aumenta a quantidade de peças produzidas, devido à fatores como a menor influência do desperdício, a redução do trabalho dos fornecedores e aos maiores descontos aplicados dentro do processo. A influência do material utilizado na produção também aumenta conforme se aumenta a quantidade de peças produzidas.

Após analisar a curva de produção, Wright (1936) percebeu que quanto mais o trabalhador envolvido na montagem conhecia o processo de fabricação do produto, menos tempo ele levaria para realizar suas tarefas. Ainda, quanto mais padronizado fosse o processo de fabricação, menor seria a necessidade de contratação de mão-de-obra especializada e habilidosa.

Wright constatou em seus estudos, “que a cada vez que o número de repetições é dobrado, ocorre um declínio percentual constante no tempo de execução da tarefa” (PEINADO & GRAEML, 2007, p. 124), concluindo assim, que a determinação da curva de aprendizagem pode ser obtida pela equação:

$$CA = \frac{\frac{T_2}{T_1} + \frac{T_4}{T_2} + \frac{T_6}{T_3} + \dots + \frac{T_n}{T_{n/2}}}{x} \quad (1)$$

Onde T_n é o tempo para fazer a n ésima unidade, T_1 é o tempo para fazer a primeira unidade e x é número de proporções realizadas.

O percentual de aprendizagem indica a diminuição do tempo proporcionada pela repetição da tarefa e normalmente varia entre 10% e 20%. No entanto, por convenção, as curvas de

aprendizagem são determinadas pelo complemento dessas taxas de diminuição. Por exemplo, uma curva de 85% apresenta decréscimos no tempo de 15% à medida que o número de repetições dobra. Teoricamente, portanto, uma curva de 100% não deveria apresentar nenhuma alteração no tempo demandado para realizar determinada tarefa, mesmo aumentando-se o número de repetições. (PEINADO & GRAEML, 2007).

A partir dessas conclusões a respeito tanto do processo quanto ao uso de mão-de-obra, Wright (1936) formulou seu modelo a respeito da curva de aprendizagem de cada trabalhador envolvido, conhecido por ser o modelo pioneiro e base de muitos outros dentro da engenharia.

O modelo potencial de curva de aprendizagem de Wright (1936, p. 124) pode ser descrito pela fórmula:

$$T_n = T_1 n^b \quad (2)$$

Onde T_n indica o tempo ou o custo médio por unidade demandado para a produção de n unidades e T_1 é o tempo ou custo da primeira unidade produzida. O parâmetro b indica a declividade da curva de aprendizagem e é determinado pela razão entre o logaritmo natural (ln) do percentual de aprendizagem e o logaritmo natural (ln) de 2.

Para o cálculo do tempo total para fabricação de x unidades, utiliza-se o modelo manipulado de Wright (ANZANELLO & FOGLIATTO, 2007):

$$T_n = T_1 \rightarrow n = T_1 n^{(b+1)} \quad (3)$$

A utilização do modelo de Wright para calcular o tempo gasto por um trabalhador para produzir n peças é eficaz quando o trabalho é quase inteiramente manual, com a utilização quase nula de tecnologia no auxílio do trabalho (ANZANELLO & FOGLIATTO, 2007).

A curva de aprendizagem de Wright é certamente o mais simples, usado e conhecido dentre os modelos formulados segundo Blancett (2002) e Globerson e Gold (1997). Por isso, seu modelo matemático é alvo de pesquisas e análises pertinentes a suas particularidades, como seu cenário de aplicação e seus fundamentos. Essas pesquisas visam compreender, ajustar e adequar, a partir do modelo elaborado por Wright, outros modelos específicos para determinados contextos e critérios (ANZANELLO et al., 2013; ZANGWILL & KANTOR, 1998, 2000; WATERWORTH, 2000).

Jaber, Bonney e Guiffrida (2010) declaram que o modelo potencial de Wright dispõe uma ampla área de aplicação, e alcançaram conclusões significativas esclarecendo que a funcionalidade do modelo de Wright trouxe melhorias para a cadeia de suprimentos dentro de um processo de melhoria contínua, em que abaixou-se os custos relacionados ao abastecimento (AZEVEDO & ANZANELLO, 2015; JABER et al., 2010). A execução e avaliação da instalação de software para empresas e domicílios por um grupo de trabalhadores foram analisados por Saraswat e Gorgone (1990) utilizando o modelo potencial. A curva de aprendizagem de Wright serviu também como instrumento para Chambers e Johnston (2000), que a utilizaram em uma empresa de transporte aéreo e em uma empresa bancária.

Diante de algumas áreas específicas, a curva de Wright não atende algumas condições, para tanto, outras curvas de aprendizado foram desenvolvidas e elaboradas ao longo do tempo, de forma a se adequarem a esses singulares contextos, ambientes e critérios. Esses modelos podem ser classificados, de forma geral, entre modelos potenciais, exponenciais e hiperbólicos (ANZANELLO et al., 2013). Segundo Anzanello e Fogliatto (2007) e Badiru (1992),

determina-se qual o modelo mais adequado a adotar baseando-se no coeficiente de Determinação (R^2).

Semelhante ao modelo de curva de aprendizado proposto por Wright, o modelo de Plateau busca detectar o estado estacionário para o aprendizado, sendo esse o momento em que o processo de aprendizagem atinge seu limite, ou identificar as limitações que uma ferramenta, como por exemplo um maquinário, podem interferir com relação à tarefa do operário, em que o tempo de operação não pode ser minimizado e não resulta em um desenvolvimento do aprendizado (BALOFF, 1971; GROSSE et al., 2015; ANZANELLO et al., 2013).

$$T_n = C + T_1 n^b \quad (4)$$

Ao modelo potencial, é incorporado a constante C , que descreve a performance do estado estacionário do trabalhador, fazendo com que T_n tenda a esse valor quando o número de repetições for muito elevado (YELLE, 1979; TEPLITZ, 1991; ANZANELLO et al., 2013).

O modelo de Stanford-b, presente na Equação 5, é uma extensão da curva de Wright e busca compreender e considerar a experiência prévia do trabalhador para com determinada operação, fator esse que representa um evidente significado de desempenho na relação entre o trabalhador que já realizou tal operação perante aquele que nunca teve familiaridade com a mesma.

$$T_n = T_1(n + B)^b \quad (5)$$

É acrescido então o parâmetro B à Equação 1 para retratar as unidades referentes a essa experiência anterior (TEPLITZ, 1991; BADIRU, 1992; NEMBHARD & UZUMERI, 2000a). O modelo considera este parâmetro B , maior que zero, equivalente ao número de ciclos em que uma mesma operação, ou similar, tenha ocorrido, o que ocasiona o conhecimento sobre a operação (GROSSE et al., 2015).

De maneira geral, o modelo de De Jong (1957) busca incorporar ao modelo potencial a cooperação de um maquinário, com tarefas automatizadas, em que a velocidade do processo é influenciada pela máquina de forma que o trabalhador não consegue reduzir este tempo (NEMBHARD & UZUMERI, 2000a). A curva de De Jong acrescenta que muitas operações tem um componente incompressível em cada processo, pois durante o tempo em que a máquina está operando não há aprendizado e, portanto, nenhum avanço no rendimento do trabalhador (GROSSE et al., 2015). Desta maneira, o modelo é apresentado da seguinte forma, acrescentando um fator de incompressibilidade:

$$T_n = T_1(M + (1 - M)n^b) \quad (6)$$

A razão entre o tempo do ciclo após inúmeras repetições e o tempo do primeiro ciclo é representada por M . A compreensão do valor de M , que pode variar de 0 a 1, representa o instante em que há o uso de ferramentas para a realização da tarefa. Se o valor for $M = 0$, então não há a interferência ou uso de maquinário, por conseguinte, se M assumir valor $M = 1$, então a tarefa está sendo realizada integralmente pela máquina (BADRI et al., 2016).

Com a intenção de associar os modelos de Stanford-b e De Jong, surge a curva S, que abrange os parâmetros de igual definição destes modelos. A curva S leva em consideração o auxílio da máquina e pondera a maior importância, relativa à aprendizagem, às primeiras tarefas realizadas (AZEVEDO & ANZANELLO, 2015). O modelo da curva S conta com a equação a seguir:

$$T_n = T_1(M + (1 - M)(n + B)^b) \quad (7)$$

O nome do modelo se origina devido ao formato que a equação assume quando plotada em um gráfico (NEMBARD & UZUMERI, 2000).

Em comparação com os modelos potenciais de curva de aprendizagem, os modelos exponenciais possuem relativamente mais parâmetros pois levam em conta um maior número de informações durante o processo de aprendizagem (GROOSE et al., 2015).

Tratando-se de modelos exponenciais, merecem destaque os modelos exponenciais de 2 e 3 parâmetros. Formulado por Mazur e Hastie (1978), o modelo exponencial de 2 parâmetros é dado conforme a equação 8:

$$y = k(1 - e^{-\frac{t}{R}}) \quad (8)$$

Neste modelo, y representa o número de itens produzidos pelo trabalhador durante o tempo t , o parâmetro k corresponde ao grau máximo desempenho a ser atingido após inúmeras repetições e R é a taxa de aprendizagem do trabalhador, em que t e R são apresentados em unidades de tempo e y , t , $k \geq 0$ (ANZANELLO & FOGLIATTO, 2007).

$$y = k(1 - e^{-\frac{t+p}{R}}) \quad (9)$$

Acrescentando o parâmetro p à equação 8, Mazur e Hastie (1978) buscaram enquadrar no modelo a experiência previa do trabalhador, em que p é dado em unidade de tempo e $p \geq 0$ (GROOSE et al., 2015). Segundo Mazur e Hastie (1978), explicam que os resultados obtidos por este modelo podem ser incertos para dados coletados em situações de operação com alta complexidade (ANZANELLO et al., 2013).

Também formulados por Mazur e Hastie (1978), dois modelos hiperbólicos possuem importância na literatura, são eles os modelos de curva de aprendizagem hiperbólico de dois parâmetros e de três parâmetros. O modelo hiperbólico de dois parâmetros é apresentado da seguinte forma:

$$y = k\left(\frac{t}{t+R}\right) \quad (10)$$

Os parâmetros são semelhantes aos da equação 8, modelo exponencial de dois parâmetros, com y referindo-se ao número de unidades montadas em um espaço de tempo t , k é o parâmetro referente ao estágio máximo para quando o trabalhador atinge seu plateau e R é a taxa de aprendizagem. Mazur e Hastie (1978) ainda adicionam um parâmetro p para considerar a experiência prévia do trabalhador, formando assim, o modelo hiperbólico de três parâmetros.

$$y = k\left(\frac{t+p}{t+p+R}\right) \quad (11)$$

3. Metodologia

Esta pesquisa pode ser classificada como uma investigação de natureza descritiva, precedida de uma pesquisa bibliográfica sobre o tema proposto. O procedimento técnico utilizado foi o estudo de caso, onde foram coletadas e analisadas as informações sobre o setor estudado. Quanto ao seu propósito, a pesquisa pode ser classificada como uma pesquisa aplicada, visto que, tem como objetivo gerar conhecimentos para uma aplicação prática, dirigida à solução de problemas específicos, para a área objeto deste estudo.

Este estudo foi conduzido no setor de costura de encosto de cadeiras em uma indústria de moveis, que produz e comercializa jogos de sala de jantar, compostos de 1 mesa e 6 cadeiras. No período de alta demanda, a empresa necessita de uma produção de 174.000 cadeiras para compor os 29.000 jogos das salas de jantar do seu portfólio de produção.

O centro de trabalho estudado, é formado por 4 operadoras temporárias, contratadas por um período de 6 meses, somando 145 dias uteis. As operadoras não possuem experiência prévia no produto e no processo, passando por um breve treinamento de duas semanas ministrado pelo encarregado do setor, antes de iniciarem o trabalho na produção.

O setor de Planejamento de Produção, com base em estudos empíricos prévios, tem como meta que o tempo unitário a ser dispendido na costura do encosto da cadeira, é de 1,60 minutos e programa para cada operadora, 43.500 unidades de encostos de cadeiras, o equivalente a 245 peças/dia, a serem fabricados neste período de 6 meses.

Os dados foram instrumentalizados através de observações utilizando a técnica da cronoanálise, pelo período de 44 dias trabalhados, com uma jornada diária de 480 minutos, entre setembro e outubro e registrados em um formulário, constando o nome da operadora, a quantidade de peças produzidas no dia e o tempo unitário de fabricação das peças. Através dessa técnica, pode-se conhecer melhor a realidade do centro de trabalho, obtendo assim, as informações necessárias sobre a construção da aprendizagem nos sujeitos do setor estudado.

Foi aplicada nesta pesquisa o modelo exponencial de Wright ((Eq.1); (Eq.2) e (Eq.3)), como modelo de referência, devido a sua simplicidade e habilidade em capturar o fenômeno da aprendizagem, cujos resultados são apresentados na Figura 1. Este modelo foi selecionado através do Coeficiente de Determinação R^2 (Tabela 1).

Para obtenção da Curva de Aprendizagem calculou-se a taxa e o slope de aprendizagem de cada operadora, analisando o comportamento da aprendizagem das operadoras e do centro de trabalho, permitindo a identificação do tempo necessário para que cada trabalhador atingisse a meta de produção estipulada pela empresa, projetar o número de dias para atingirem esta meta e o número de operadoras necessárias para que a produção programada seja atingida.

4. Discussão e análise dos dados

A curva de aprendizado de cada operadora e do centro de trabalho é apresentada na Fig. 1. A aderência ao modelo clássico de Wright (eq.1), foi selecionado através do coeficiente de determinação R^2 , que aponta um fator de regressão significativo, superior a 0,8 para todas as operadoras e para o centro de trabalho (Tabela 1).

CURVA DE APRENDIZAGEM

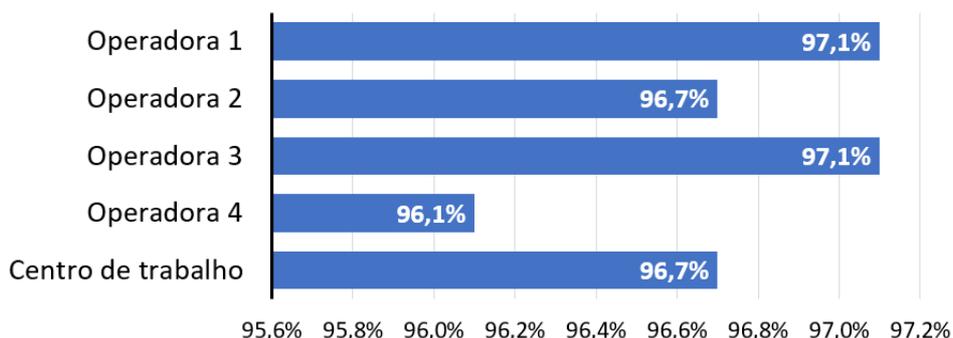


Figura 1 – Curva de Aprendizagem das Operadoras

Fonte: Os autores (2019)

Operador/Centro	Curva de aprendizagem	Slope de aprendizagem	Coefficiente de determinação (R ²)
Operadora 1	97,1%	-0,04308	0,9369
Operadora 2	96,7%	-0,04867	0,9128
Operadora 3	97,1%	-0,04237	0,8009
Operadora 4	96,1%	-0,05675	0,8045
Centro de trabalho	96,7%	-0,04781	0,9158

Fonte: Os autores (2019)

Tabela 1 – Curva de Aprendizagem, Slope de Aprendizagem e Coeficiente de Determinação R² das Operadoras

Pode-se observar na Figura 1, que as taxas de aprendizagem das operadoras e do centro de trabalho estão acima de 96%, existindo assim pouco espaço para a aprendizagem.

Operador/Centro	Tempo da 1ª peça (min) (*)	Fator de aprendizagem	Tempo unitário previsto (min) (**)	Impacto do efeito aprendizagem
Operadora 1	2,59	0,6354	1,65	36%
Operadora 2	3,13	0,5963	1,54	51%
Operadora 3	2,52	0,6354	1,65	35%
Operadora 4	2,59	0,5417	1,40	46%
Centro de trabalho	2,69	0,5963	1,54	43%

Fonte: Os autores (2019)

Tabela 2 – Comparativo entre o tempo unitário primeira peça fabricada (*) e o tempo unitário previsto pelo efeito da aprendizagem (**)

Como observado na Tabela 2, ao aplicar o fator de aprendizagem do modelo de Wright (Eq.2), no tempo de fabricação da primeira unidade produzida pelas operadoras, obtém-se um decréscimo no tempo unitário por unidade. A projeção de redução do tempo unitário da primeira peça produzida pela Operadora 1 e da última peça a ser produzida por esta Operadora, no atendimento do lote programado para o período, provocado pelo efeito da aprendizagem é de 36%, seguido de 51% da Operadora 2, 35% da Operadora 3 e 46% da Operadora 4, resultando uma redução de 43% para o centro de trabalho.

A aplicação da curva de aprendizagem (Tabela 2), permite inferir que o tempo unitário previsto para a fabricação do encosto da cadeira pela Operadora 2 e pela Operadora 4 ao final do processo, será menor que o tempo padrão definido pela empresa, que é de 1,60

minutos/unidade. Esta redução prevista no tempo de fabricação unitário, representa um ganho de produtividade em relação ao tempo padrão da empresa, na ordem de 3,5% para a Operadora 2 e 12,3% para a Operadora 4. É importante destacar, que a Operadora 2, mesmo tendo seu tempo inicial superior as demais operadoras, quando considerado o efeito da aprendizagem, tende a atingir um tempo menor que as Operadoras 1 e 3.

Operador/Centro	Tempo total do lote sem CA (min)	Tempo total do lote com CA (min)	Impacto do efeito aprendizagem
Operadora 1	112,665	74,764	-66%
Operadora 2	136,155	85,314	-63%
Operadora 3	109,620	72,743	-66%
Operadora 4	112,665	64,750	-57%
Centro de trabalho	117,015	67,250	-57%

Fonte: Os autores (2019)

Tabela 3 – Comparativo entre o tempo total previsto para fabricação do lote programado não considerando o efeito da Curva de Aprendizagem (CA) e o tempo total previsto considerando o efeito da Curva de Aprendizagem (CA)

A Tabela 3 traz o efeito da Curva de Aprendizagem, na previsão do tempo total de fabricação a ser despendido por Operadora, para a fabricação do lote programado de 43.500 unidades de encosto de cadeira, para o período de 145 dias. Tomando como exemplo a Operadora 1, utilizando previsão seu tempo inicial de fabricação de 2,59 minutos por unidade, o tempo necessário para que fabrique as 43.500 unidades será de 112,665 minutos, ao considerar o impacto do efeito Aprendizagem (Eq.3), o tempo previsto a ser dispendido para a fabricação do lote será de 74,764 minutos, representando uma redução de 66%.

5. Conclusão

O modelo de curva de aprendizagem de Wright foi usado para calcular o tempo de ciclo e a capacidade da linha de produção do setor estudado, concluindo que a capacidade contratada é inferior a capacidade projetada. Os resultados deste estudo demonstram a importância de considerar a dinâmica do efeito aprendizagem para determinar estratégias de manufatura. Tradicionalmente, o planejamento da produção nas empresas industriais, toma como base para o planejamento da capacidade e a programação da produção, os tempos unitários de fabricação levantados pelo método da cronoanálise, sem considerar, contudo, o efeito aprendizagem sobre o operador.

Considerando-se a importância da contribuição da Curva da Aprendizagem para a precisão dos parâmetros utilizados para um planejamento da produção eficaz, fica evidente a necessidade da compreensão do processo aprender, permitindo a empresa definir ações que possibilitem melhorar a assertividade de sua programação da produção, atender no prazo previsto a demanda de clientes, balancear capacidade de equipamento com a necessidade de trabalhadores no seu processo produtivo.

Referências

ANZANELLO, M. J.; FOGLIATTO, F. S. Curvas de aprendizado: estado da arte e perspectivas de pesquisa. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 14, n. 1, p. 109-123, 2007.

ANZANELLO, M.J.; FOGLIATTO, F.S. Learning curve modelling of work assignment in mass customized assembly lines. **International Journal of Production Research**, 45 (13), 2919-2938, 2007.

ANZANELLO, M. J.; FOGLIATTO, F., S. Learning curve models and applications: literature review and research directions. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 41 (5), 573-583, 2011.

AZEVEDO, B. B.; ANZANELLO, M. J. Agrupamento de trabalhadores com perfis semelhantes de aprendizado apoiado em Análise de Componentes Principais. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 22, n. 1, p. 35-5, 2015.

BADIRU, A. B. Computational survey of univariate and bivariate learning curve models. **IEEE Transactions on Engineering Management**, 39 (2), 176–188, 1992.

BADRI, H. M.; DEROS, B. M.; SYAHRI, M.; SALEH, C.; FITRIA, A. Implementation Learning and Forgetting Curve to Scheduling in Garment Industry. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 114 (1), art. n. 012068, 2016.

BALOFF, N. Extension of the learning curve - some empirical results. **Operational Research Quarterly**, 22 (4), 329-340, 1971.

BLANCETT, R. S. Learning from Productivity Learning Curves. **Research-Technology Management**, May-June, 45, 54–8, 2002.

CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Experience Curves in Services: Macro and Micro Level Approaches. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 20, n. 7, p. 842-859, 2000.

DAR-EL, E. M. Human Learning: from learning curves to learning organizations, **Kluwer Academic**, Boston, MA, 2000.

GLOBERSON, S.; GOLD, D. Statistical Attributes of the Power Learning Curve Model. **International Journal of Production Research**, v. 35, n. 3, p. 699-711, 1997.

GROSSE, E. H.; GLOCK, C. H.; MÜLLER, S. Production economics and the learning curve: A metaanalysis, **Int. J. Prod. Econ.**, 170 (B):401–412, 2015.

IEMI – INSTITUTE OF STUDIES AND INDUSTRIAL MARKETING. **Study of the potential market for furniture in Brazil**. Available in: <http://www.emobile.com.br/site/industria/relatorio-brasil-moveis-2017/>. Access in: 20/11/2017.

JABER, M. Y.; BONNEY, M.; GUIFFRIDA, A. L. Coordinating a three-level supply chain with learning based continuous improvement. **International Journal of Production Economics**, v. 127, n. 1, p. 27-38, 2010.

KANNAN, V. R.; PALOCSAY, S. W. Cellular vs process layouts: an analytic investigation of the impact of learning on shop performance. **The International Journal of Management Science**, v. 27, p. 583-592, 1999.

MAZUR, J. E.; HASTIE, R. Learning as Accumulation: a Reexamination of the Learning Curve. **Psychological Bulletin**, v. 85, n. 6, p. 1256-1274, 1978. PMID:734012.

NEMBHARD, D. A.; UZUMERI, M. V. An individual-based description of learning within an organization. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 47 (3), n. 3, p. 370-378, 2000a.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. Administração da produção: operações industriais e de serviços. Curitiba: UnicenP, 2007

SARASWAT, S. P.; GORGONE, J. T. Organizational Learning Curve in Software Installation: an Empirical Investigation. **Information & Management**, v. 19, p. 53-59, 1990.

SIMA. **Sindicato das indústrias de móveis de arapongas**. Disponível em: <http://www.sima.org.br/dadosdosedtor.html>. Acesso em 10/04/2018.

STROIEKE, R. E.; FOGLIATTO, F. S.; ANZANELLO, M. J. Estado da arte das aplicações de curvas de aprendizado. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 20, n. 3, p. 681-694, 2013.

TEPLITZ, C. J. The Learning Curve Deskbook: A reference Guide to Theory, Calculations and Applications. **Quorum Books**, New York, 1991.

WATERWORTH, C. J. Relearning the Learning Curve: a Review of the Derivation and Applications of Learning-Curve Theory. **Project Management Journal**, p. 24-31, March 2000.

WRIGHT, T. P. Factors Affecting the Cost of Airplanes. **Journal of the Aeronautical Sciences**, 3 (4), 122-128, 1936.

YELLE, L. E. The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey. **Decision Science**, v. 10 (2), p. 302-328, 1979.

ZANGWILL, W. I.; KANTOR, P. K. Toward a Theory of Continuous Improvement and the Learning Curve. **Management Science**, v. 44, n. 7, p. 910-920, 1998.

ZANGWILL, W. I.; KANTOR, P. K. The Learning Curve: a New Perspective. **International Transactions in Operational Research**, v. 7, p. 595-607, 2000.