

modelo da curva de esquecimento: uma revisão sistemática que visa consolidar os principais modelos e delinear possibilidades de futuras pesquisas em produção

Forgetting curve models: a systematic review aimed at consolidating the main models and outlining possibilities for future research in production

Bruno Goulart Sato¹, Bruno Pontes Fuentes², Edson Luiz Valmorbida³, Renan Botti⁴, José Ângelo Ferreira⁵

RESUMO

Esta pesquisa levanta o conhecimento atual sobre Curvas de Esquecimento e sua aplicação na produção, visando identificar as principais características e tendências e lacunas de pesquisa neste tema. Diante da necessidade de aprimorar ferramentas que permitam aos planejadores de produção prever com maior precisão os lotes programados, constatou-se que ainda existem lacunas a serem preenchidas que permitam a aplicação de técnicas de aprendizagem e esquecimento no processo produtivo. Para compor o escopo desta pesquisa foi realizada uma sistematização da literatura existente, utilizando as palavras-chave “curvas de esquecimento”, “esquecimento total”, “curva de aprendizagem e esquecimento” e “efeitos de esquecimento”, nas bases de dados da Science Direct, Scielo, Scopus, Web of Science e Google Academics, o que permitiu classificar e organizar os modelos desenvolvidos em 3 grupos: Modelos Determinísticos, Modelos Estatísticos e Modelos Funcionais. Esse processo sistemático consistiu em selecionar bases de dados, filtrar publicações, revisar informações e analisar modelos, fornecendo uma análise detalhada sobre um tema que, apesar de promissor, é pouco explorado na indústria, demonstrando e indicando lacunas na pesquisa e aplicação a ser preenchido.

PALAVRAS-CHAVE: Forgetting Curve, Mathematical Models, Production Planning.

ABSTRACT

This research surveys current knowledge about Forgetting Curves and their application in production, aiming to identify the main characteristics and tendencies and research gaps on this topic. Faced with the need to improve tools that allow production planners to predict programmed batches with greater precision, it was found that there are still gaps to be filled that allow the application of learning and forgetting techniques in the production process. To compose the scope of this research, a systematization of the existing literature was carried out, using the keywords “forgetting curves”, “total forgetting”, “learning and forgetting curve” and “forgetting effects”, in the databases of Science Direct, Scielo, Scopus, Web of Science and Google Academics, which allowed classifying and organizing the developed models into 3 groups: Deterministic Models, Statistical Models and Functional Models. This systematic process consisted of selecting databases, filtering publications, reviewing information and analyzing models, providing a detailed analysis on a topic that, despite being promising, is poorly explored in the industry, demonstrating and indicating gaps in research and application. to be filled

KEYWORDS: Forgetting Curve, Mathematical Models, Production Planning.

INTRODUÇÃO

As pesquisas iniciais sobre aprendizado mostraram que à medida que as pessoas ganham experiência em uma tarefa, o tempo necessário para realizá-la diminui, embora a

¹ Bolsista da Fundação Araucária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: brunogoulartsato@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 6982785246339868.

² Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: brunofuentes@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 7220538644211366.

⁵ Docente em Engenharia de Produção/DAENP-LD/PIBIC. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: joseaferreira@professores.utfpr.edu.br. ID Lattes: 6492009111846469.



taxa de diminuição diminua com o tempo. Isso foi documentado através de equações que descreviam essa tendência.

Wright (1936) foi o pioneiro ao quantificar as relações entre variáveis de aprendizado, especialmente no contexto de produção, introduzindo a "Curva de Aprendizado", onde ele observou que o tempo de produção de um avião diminuía de maneira constante toda vez que a produção dobrava, afetando o custo do produto. Além disso, o estudo também aborda a "Curva de Esquecimento", que é frequentemente negligenciada, mostrando que a capacidade de esquecer uma habilidade após um período de inatividade é uma parte importante do aprendizado. Esta revisão do estado da arte destaca modelos significativos relacionados à Curva de Esquecimento, classificando-os em três grupos: Modelos Determinísticos, Modelos Estatísticos e Modelos Funcionais, com um foco na teoria subjacente, formulação e aplicação industrial.

METODOLOGIA

Este estudo apresenta uma Revisão do Estado da Arte sobre o assunto, apresentando os modelos mais expressivos sobre a Curva de Esquecimento, tendo como eixos o embasamento teórico, a formulação dos modelos e sua aplicação no ambiente industrial proposta pelos pesquisadores

Para este propósito, foram analisadas publicações relacionadas às curvas de aprendizado nas bases de dados Science Direct, Scielo, Scopus, Web of Science e Google Academics, utilizando palavras-chave como "curvas de esquecimento", "esquecimento total", "curva de aprendizado e esquecimento" e "efeitos do esquecimento".

Ao realizar buscas nas bases de dados, foram encontrados 706 artigos com o termo "curvas de esquecimento", 5.639 com o termo "efeitos do esquecimento", 348 com o termo "curva de aprendizado e esquecimento" e 1.879 com o termo "esquecimento total". A maioria dos artigos encontrados, apresentou o fenômeno do esquecimento em áreas do conhecimento, como no setor da psicologia, pedagogia, entre outras, que foram descartadas, pois o critério de seleção para os artigos utilizados nesta pesquisa baseou-se nos modelos de esquecimento aplicados no processo produtivo.

MODELOS DE ESQUECIMENTO

Os modelos determinísticos determinam o valor da inclinação de esquecimento levando em consideração três fatores: o número de unidades acumuladas produzidas até a interrupção, o intervalo mínimo de interrupção que pressupõe um esquecimento completo e a tendência de aprendizado (BONNEY; JABBER, 1997). Os modelos determinísticos seguem a seguinte equação (1):

$$T_x = T_1 x^f \quad (1)$$

A equação relaciona o tempo de produção após uma interrupção T_x com o tempo de produção da primeira unidade T_1 , o número de unidades produzidas sem esquecimento x e a inclinação do esquecimento f .

Os Modelos estatísticos foram desenvolvidos por Globerson, Levin e Shtub com o objetivo de prever um certo tempo de desempenho após uma pausa com ocorrência de esquecimento. Esses modelos envolvem o ajuste de 2 ou mais parâmetros para prever o



tempo de produção após uma pausa, através de regressão (NEMBHARD; OSOTHSILP, 2001).

Modelos Funcionais foram desenvolvidos através da continuidade de outros modelos existentes para representar a realidade da produção aplicada, estes modelos têm fatores únicos para descrever sua realidade. Um exemplo de modelo Funcional é o modelo Multivariado de Produção, desenvolvido por Hoedt, et al (2019), onde seu modelo é derivado do modelo LFCM, adicionando um fator único que é a similaridade entre tarefas distintas atribuídas ao operador.

Outro modelo importante derivado do LFCM foi desenvolvido por Ferreira, et al (2020), denominado LFRCM (Learning-Forgetting-Relearning Curve Model), onde relata um reaprendizado após uma interrupção. Sua aplicação foi testada e comprovada em uma indústria moveleira e obteve-se uma acuracidade acima de 95%.

APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA

Da mesma forma que as Curvas de Aprendizado, as Curvas de Esquecimento oferecem vastas oportunidades de pesquisa e aplicação na indústria de manufatura. Isso ocorre porque elas permitem que os fatores que levam ao esquecimento e seu efeito nas tarefas sejam estudados e modelados, desempenhando um papel fundamental no planejamento de produção.

Aplicações da curva de aprendizado e esquecimento nas indústrias devem ocorrer nas seguintes áreas:

- Suporte à programação da produção: as curvas de esquecimento podem ser utilizadas para medir o impacto de interrupções voluntárias ou não intencionais na fabricação do item e seu efeito nos prazos de entrega de lotes programados.
- Aplicação no gerenciamento de custo de produção: as curvas de esquecimento permitirão mensurar as perdas causadas pelas interrupções, possibilitando a definição de estratégias que minimizem os efeitos dessas perdas no custo de produção.
- Parâmetro para qualificação de mão de obra: a identificação do fator esquecimento do trabalhador ajudará a definir uma política de treinamento/qualificação, visando uma menor relação custo-benefício.
- Otimização da força de trabalho: durante o processo de programação da produção, a necessidade de contratar mais operadores ou realizar horas extras, caso seja constatado, através da projeção de tempo exigido pela curva de aprendizagem/esquecimento e reaprendizagem.

CONCLUSÃO

O fenômeno do esquecimento é o oposto do fenômeno de aprendizado, no qual o esquecimento não implica em aprendizado negativo, mas é uma consequência das interrupções. Globerson (1987) sugere que uma das teorias que explicam o esquecimento é a teoria do desuso, que ocorre quando a informação não é utilizada.

As curvas de esquecimento, quando combinadas com as curvas de aprendizado, têm se mostrado uma ferramenta importante para o agendamento de produção, permitindo prever a entrega de lotes de fabricação ao calcular a perda de aprendizado dos



trabalhadores causada por interrupções no processo de fabricação. Este artigo apresenta uma revisão da literatura sobre os principais modelos de Curva de Esquecimento e suas aplicações, com o objetivo de trazer contribuições relevantes para o Planejamento e Controle de Produção, ao possibilitar uma melhor utilização da capacidade produtiva ao compreender os impactos causados pelo esquecimento na produtividade dos trabalhadores. Vale ressaltar que a revisão trazida por este estudo tem como objetivo instigar pesquisas futuras sobre a relevância do esquecimento, seus impactos, processos, preços e estratégias de negócios.

Agradecimentos

Gostaríamos de estender meus profundos agradecimentos à universidade, ao meu orientador e à minha família por nos proporcionarem a valiosa oportunidade de participar da iniciação científica. Essa experiência tem sido incrivelmente enriquecedora, permitindo-me mergulhar no mundo da pesquisa acadêmica e expandir nosso conhecimento em nossa área de estudo. Além disso, gostaríamos de expressar nossa gratidão à Fundação Araucária e ao CNPq por seu contínuo apoio à comunidade científica. Seu compromisso em promover a pesquisa e o avanço do conhecimento desempenha um papel fundamental em nossa jornada acadêmica e na construção de um futuro promissor para a ciência. Estamos verdadeiramente gratos por todas essas oportunidades que nos ajudaram a crescer como pesquisador e pessoa.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

FERREIRA, José Ângelo; KRELING, João Paulo Dutra; OZÓRIO, Arthur Kreling. Learning e Forgetting Curve Theories, aplicadas ao Planejamento e Programação da Produção. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 94914-94928, 2020.

GLOBERSON, Shlomo. Incorporating forgetting into learning curves. **International journal of operations & production management**, v. 7, n. 4, p. 80-94, 1987.

HOEDT, Steven et al. The effect of job similarity on forgetting in multi-task production. **Procedia manufacturing**, v. 39, p. 983-990, 2019.

JABER, Mohamad Y.; BONNEY, Maurice. A comparative study of learning curves with forgetting. **Applied Mathematical Modelling**, v. 21, n. 8, p. 523-531, 1997.

NEMBHARD, David A.; OSOTHSILP, Napassavong. An empirical comparison of forgetting models. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 48, n. 3, p. 283-291, 2001.

WRIGHT, Theodore P. Factors affecting the cost of airplanes. **Journal of the aeronautical sciences**, v. 3, n. 4, p. 122-128, 1936.

XIII Seminário de Extensão e Inovação
XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR

Ciência e Tecnologia na era da Inteligência Artificial: Desdobramentos no Ensino Pesquisa e Extensão
20 a 23 de novembro de 2023 - *Campus Ponta Grossa, PR*



SEI-SICITE
2023

