

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
DELMIRO GOUVEIA - AL
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JÉSSICA VALÉRIA GOMES VILAR LIMA

**FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DE APOIO ÀS APLICAÇÕES DE CADEIAS
DE MARKOV NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Delmiro Gouveia - AL

2024

JÉSSICA VALÉRIA GOMES VILAR LIMA

**FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DE APOIO ÀS APLICAÇÕES DE CADEIAS
DE MARKOV NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Alagoas, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharelado em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof.Dr. Marcelo Amanajás Pires.

Delmiro Gouveia - AL

2024

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

L732f Lima, Jéssica Valéria Gomes Vilar

Ferramentas computacionais de apoio às aplicações de cadeias de Markov na Engenharia de Produção / Jéssica Valéria Gomes Vilar Lima - 2024.

58 f. : il.

Orientação: Marcelo Amanajás Pires.

Monografia (Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia de Produção. Delmiro Gouveia, 2024.

1. Engenharia de Produção. 2. Cadeias de Markov. 3. Ferramentas computacionais. 4. Softwares. I. Pires, Marcelo Amanajás, orient. II. Título.

CDU: 658.5

Folha de Aprovação

JÉSSICA VALÉRIA GOMES VILAR LIMA

FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DE APOIO ÀS APLICAÇÕES DE CADEIAS DE MARKOV NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de ENGENHARIA DE PRODUÇÃO da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 27 de agosto de 2024.

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO AMANAJAS PIRES**
Data: 06/10/2024 20:52:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador - Prof. Dr. Marcelo Amanajás Pires
Universidade Federal de Alagoas
Campus Sertão - Sede

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **AGNALDO JOSE DOS SANTOS**
Data: 07/10/2024 09:26:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador - Prof. Dr. Agnaldo Jose dos Santos
Universidade Federal de Alagoas
Campus Sertão - Sede

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO FELISBERTO DE LIMA**
Data: 08/10/2024 18:16:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador - Prof. Dr. Marcelo Felisberto de Lima
Universidade Federal de Alagoas
Campus Sertão - Sede

AGRADECIMENTOS

Com lágrimas nos olhos, inicio meus agradecimentos e, ao fazê-lo, um filme de toda a minha trajetória ao longo desses árduos e enriquecedores anos passa pela minha mente. Recordo-me claramente do momento em que cheguei à universidade, acanhada, temerosa e tímida (não que essa parte tenha mudado muito). Hoje, porém, consigo perceber o quanto evoluí e me tornei uma mulher forte.

Escrevi esses agradecimentos muitas vezes em sonhos, e parecia um objetivo inalcançável. Porém, aqui estou eu, encerrando mais um ciclo e realizando o sonho tão esperado. Minha trajetória não foi fácil; foi dolorosa e longa, exigindo muitos sacrifícios. Contudo, sou imensamente grata por tudo o que passei, pois foi essa jornada que me moldou na pessoa que sou hoje.

É impossível refletir sobre minha trajetória sem reconhecer as pessoas que estiveram ao meu lado durante todo esse tempo, oferecendo apoio e amparo. Sou profundamente grata a Deus pelo cuidado constante comigo e pela proteção divina. Sou eternamente grata à minha mãe Lucineide e à minha avó Nilda pelo suporte, amor e incentivo incondicionais. Agradeço também ao meu noivo Júlio, cuja presença e apoio foram essenciais em cada passo dessa jornada, você fez tudo ser mais fácil e leve.

Não posso esquecer os amigos que fiz ao longo do caminho: Bruna, Letícia, Jamile, Babi, Kelvin, Juan, Helder... Vocês foram essenciais nesse período acadêmico e quero leva-los pra vida. Também não posso esquecer daqueles amigos de uma vida toda: Ingrid, Vanessa, Juninho, Victor, Jaislan, que estiveram comigo em todos os momentos, me dando forças e apoio. Minha eterna gratidão a cada um de vocês.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de expressar minha sincera gratidão ao professor Marcelo Pires. Sua dedicação, paciência e empenho foram fundamentais na realização deste trabalho. A sua orientação foi crucial para o sucesso desta etapa.

Muito obrigada a todos.

O sucesso é a soma de pequenos esforços
repetidos dia após dia. (Robert Collier)

RESUMO

Este trabalho tem o propósito de analisar as ferramentas computacionais utilizadas na aplicação das cadeias de Markov na Engenharia de Produção, identificando tendências e áreas de aplicação. A metodologia adotada combina uma revisão bibliográfica abrangente e uma análise quantitativa. Os resultados obtidos mostram que as ferramentas mais utilizadas no referido contexto são: Excel, Matlab, Arena, WinBUGS e R. A análise classificatória revelou que a maioria dos trabalhos (67%) possui caráter aplicado. Quanto aos setores de aplicação, a indústria e a manufatura predominam, representando 58,7% da produção acadêmica. Em relação às áreas da ABEPRO, 81% dos trabalhos se distribuem em três áreas principais: pesquisa operacional, Engenharia de Operações e Processos da Produção e cadeias de suprimentos. Comparando com estudos anteriores, esta pesquisa oferece uma visão mais ampla do panorama brasileiro no que diz respeito às aplicações das cadeias de Markov em diferentes contextos da Engenharia de Produção.

Palavras-chave: Softwares; Cadeias de Markov; Engenharia de Produção; Revisão Sistemática.

ABSTRACT

This work aims to analyze the computational tools used in the application of Markov Chains in Production Engineering, identifying trends and areas of application. The methodology adopted combines a comprehensive literature review and a quantitative analysis. The results obtained indicate that the most adopted tools in this context are: Excel, Matlab, Arena, WinBUGS and R. The classification analysis revealed that the majority of works (67%) are applied in nature. As for application sectors, industry and manufacturing stand out, accounting for 58.7% of academic production. In relation to ABEPRO areas, 81% of the work falls into 3 areas: operational research, operations and process engineering and supply chains. In relation to previous studies, this research contributes by providing a more comprehensive understanding of the Brazilian scenario with regard to the applications of Markov Chains in different contexts of Production Engineering.

Keywords: Software; Markov Chains; Production engineering; Systematic review.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	Processos Estocásticos.....	13
2.1.1	Aspectos gerais.	13
2.1.1.1	Processos Markovianos.	14
2.1.1.2	Probabilidade de transição.	15
2.2	Cadeias de Markov	16
2.2.1	Aspectos práticos.	20
2.2.2	Simulação de cadeias de Markov utilizando o Excel.....	22
3	METODOLOGIA.	24
3.1	Classificação da pesquisa.....	24
3.2	Seleção dos documentos.....	25
3.3	CrITÉrios e instrumentos de pesquisa.....	26
3.4	Procedimentos de análise dos dados.	26
3.5	Limitações da pesquisa.	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1	Análise dos resultados.....	29
4.2	Discussão dos resultados.....	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.	39

REFERÊNCIAS	41
APÊNDICE A – APLICAÇÃO DE CADEIAS DE MARKOV ATRAVÉS DO GOOGLE PLANILHAS PARA OBTENÇÃO DE VETOR DE PROBABILIDADE.	44
APÊNDICE B – TRABALHOS SELECIONADOS PARA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	47
APÊNDICE C – CONDIÇÃO DE ESTADO ESTACIONÁRIO: INDEPENDÊNCIA DO VETOR INICIAL.	56

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia de Produção é vital para a indústria moderna, focando na otimização de processos produtivos e na competitividade global. Conforme mencionado por Martins e Laugeni, (2015), desde os primórdios da administração científica com Frederick W. Taylor, que buscava sistematizar a produtividade através de melhores métodos de trabalho e processos de produção, as empresas continuam a buscar a eficiência, redução de custos e aumento da qualidade. Hoje, a engenharia de produção mantém essa tradição, adaptando-se às novas técnicas e demandas do mercado (MARTINS; LAUGENI, 2015).

Nesse contexto, as Cadeias de Markov têm emergido como uma ferramenta importante na análise e modelagem de diversos processos e sistemas na Engenharia de Produção. Essa abordagem probabilística é amplamente aplicada em vários setores, destacando-se por sua eficácia e versatilidade (SILVA, 2024). As cadeias de Markov são um tipo específico de processo estocástico que não retém memória dos estados anteriores. Isso significa que o próximo estado de um sistema depende apenas do seu estado atual, e não da sequência de eventos que o precedeu (MAGELA, 2015). Essa característica permite modelar diversos fenômenos de interesse, tornando as cadeias de Markov uma ferramenta valiosa na análise de processos com muitos estados possíveis e transições entre eles. As técnicas para análise dessas cadeias incluem o cálculo de probabilidades e valores esperados que quantificam o comportamento do sistema ao longo do tempo (NORRIS, 1998).

As aplicações das cadeias de Markov mostram um crescimento notável ao longo dos anos, destacando-se na resolução de problemas complexos em diversas áreas da engenharia, especialmente na Engenharia de Produção. Entre as principais vantagens, estão a capacidade de prever cenários futuros, visualizar variações nos resultados esperados e controlar mudanças. Isso permite que empresas dos setores industriais, comerciais e logísticos se ajustem às variabilidades presentes em toda a cadeia produtiva, contribuindo significativamente para a eficiência e a tomada de decisões estratégicas (SILVA, 2024).

O fenômeno da globalização dos mercados e a internacionalização das operações representam fatores determinantes no crescimento da concorrência entre empresas, levando as organizações a realizarem mudanças radicais na forma de pensar e conceber os seus sistemas, buscando maneiras de otimizar os seus processos produtivos, reduzir custos e aumentar a eficiência operacional (FIGUEREDO, 2017). As cadeias de Markov, com a sua capacidade de modelar sistemas estocásticos e prever comportamentos futuros, oferecem uma ferramenta valiosa para atingir esses objetivos.

Apesar das vantagens teóricas e práticas das Cadeias de Markov na Engenharia de Produção ainda faltam estudos nacionais que forneçam uma visão abrangente das ferramentas computacionais disponíveis para apoiar a aplicação de Cadeias de Markov. Além disso, não há uma análise detalhada sobre as áreas específicas da Engenharia de Produção que utilizam essas ferramentas. Este estudo visa preencher as referidas lacunas.

Nessas circunstâncias, a questão central que norteia este trabalho é: qual é o panorama nacional sobre as aplicações e correspondentes ferramentas computacionais relacionadas a aplicação das cadeias de Markov na Engenharia de Produção?

Diante do questionamento central, podemos formular o seguinte objetivo geral:

- Analisar o panorama nacional das aplicações de Cadeias de Markov na Engenharia de Produção, com ênfase nas ferramentas computacionais utilizadas.

A partir do objetivo geral, podemos decompor a pesquisa em objetivos mais específicos:

- Identificar as principais ferramentas computacionais empregadas na aplicação de Cadeias de Markov na Engenharia de Produção no Brasil.
- Classificar os trabalhos encontrados em categorias, como teóricos e aplicados, e analisar a distribuição por setores da Engenharia de Produção.
- Analisar as tendências no uso de Cadeias de Markov na Engenharia de Produção ao longo do tempo.
- Comparar os resultados obtidos com estudos anteriores na área, identificando lacunas e oportunidades para futuras pesquisas.

Diante do objetivo geral e dos específicos nota-se que esta pesquisa apresenta uma relevância significativa para o campo da Engenharia de Produção, especialmente no contexto brasileiro. Para alcançar os objetivos estabelecidos esta pesquisa adota uma metodologia que combina uma revisão sistemática da literatura acadêmica com análises quantitativas dos resultados bibliográficos obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Processos Estocásticos

2.1.1 Aspectos gerais

Podemos compreender processos estocásticos como modelos matemáticos essenciais para descrever sistemas ou fenômenos que evoluem com um determinado grau de aleatoriedade ao longo do tempo. Para Alves e Delgado (1997) um processo estocástico pode ser entendido como um conjunto de variáveis aleatórias indexadas a uma variável, frequentemente o tempo. Diferentemente de uma função determinística que assume valores bem definidos ao longo do tempo, um processo estocástico assume valores aleatórios. Os possíveis valores que o processo pode assumir são chamados de estados, e o conjunto desses valores é conhecido como espaço de estados.

Um processo estocástico é definido pela família ou conjunto de variáveis aleatórias $\{X_t\}$, onde t é um parâmetro temporal (índice) de um dado conjunto T . Um valor específico para a variável aleatória é denominado um “estado”. Na terminologia dos processos estocásticos, a variável aleatória X_t é chamada “variável de estado”. O espaço dos estados (S) é simplesmente o espaço amostral para todos os valores possíveis de X_t (GUAZZELLI, 1993, p. 1).

Conforme revisado por Silva (2024) os processos estocásticos podem ser classificados com base na natureza dos seus estados e dos seus parâmetros de indexação. Os processos estocásticos são categorizados de acordo com o tempo, que pode ser discreto ou contínuo, e o espaço amostral, que pode ser discreto (com um conjunto finito ou enumerável de estados) ou contínuo (com um conjunto não-enumerável de estados).

Processos Estocásticos com base no Tempo

a) Processos com Tempo Discreto

Definição: O tempo é contado em passos discretos $\{t = 0, 1, 2, \dots\}$ enumerável

b) Processo com Tempo Contínuo

Definição: O tempo é uma variável contínua $\{t > 0\}$ não enumerável

Processos Estocásticos com base nos Estados

a) Processos com Estados Discretos

Definição: O conjunto de estados é enumerável.

b) Processos Estocásticos com Estados Contínuos

Definição: O conjunto de estados é não enumerável.

A seguir, a Tabela 1, mostra também, como podem ser classificados os processos estocásticos.

Tabela 1 - Classificação dos processos estocásticos

Tempo	Espaço de Estados
Discreto	Discreto
Discreto	Contínuo
Contínuo	Discreto
Contínuo	Contínuo

Fonte: Autora, 2024.

Um processo estocástico de estado discreto é aquele em que o conjunto de possíveis resultados, denotado por S , é composto por valores discretos e contáveis. Esses valores podem ser finitos, como os resultados do lançamento de um dado, ou infinitos, como o número de tentativas necessárias até o sucesso numa sequência de lançamentos de moeda. Além disso, se o parâmetro de indexação, T , que representa os momentos no tempo em que o processo é observado, assume apenas valores discretos, temos um processo estocástico de parâmetro discreto (GUAZZELLI, 1993). O processo estocástico de tempo discreto e espaço de estado contínuo, é um processo onde as observações são feitas em intervalos de tempo discretos, mas as variáveis de estado podem assumir qualquer valor num intervalo contínuo (tipicamente os números reais). Silva (2024) exemplificou, a temperatura diária numa cidade como processo estocástico de estado contínuo em tempo discreto, onde a variável aleatória X_n pode representar a temperatura em graus Celsius (espaço contínuo de estados) no dia n (tempo discreto). O processo estocástico em tempo contínuo e espaço de estado discreto é um processo onde o tempo é tratado como uma variável contínua, mas o conjunto de estados possíveis é discreto (enumerável). E o processo estocástico de tempo contínuo e estado contínuo é um processo onde tanto o tempo quanto os estados são tratados como variáveis contínuas.

2.1.1.1 Processos Markovianos

Nos processos estocásticos, destacam-se os processos markovianos, que possuem a propriedade de Markov, onde a probabilidade de transição para um estado futuro depende apenas do estado atual e não dos estados anteriores (Da Silva e Júnior, 2011). Isso os torna especialmente úteis para modelar sistemas cujo comportamento futuro é influenciado apenas pelo estado presente. A análise dessas transições é feita através da matriz de transição, que detalha as probabilidades de mover-se de um estado para outro num único passo de tempo.

De acordo com a propriedade de Markov, essa probabilidade é dada pela equação (1):

$$P(X_{t+1} = x_{t+1} | X_t = x_t, X_{t-1}, \dots, X_0 = x_0) = P(X_{t+1} = x_{t+1} | X_t = x_t) \quad (1)$$

Onde:

- **Estado Futuro (X_{t+1})** É o estado que o processo assumirá no próximo passo de tempo.
- **Estado Presente (X_t)** É o estado atual do processo no tempo t .
- **Histórico de dados ($X_{t-1}, \dots, X_0 = x_0$)** são os estados que o processo assumiu nos momentos anteriores a t .

Note que a letra maiúscula representa a variável aleatória e a letra minúscula um valor específico assumido pela variável aleatória.

2.1.1.2 Probabilidade de transição

Segundo Guazzelli (1993) a probabilidade de transição é definida como a chance de o processo estocástico mudar de um estado presente específico para um estado futuro específico num único passo de tempo. A probabilidade de transição de 1-estado refere-se à probabilidade de passar de um estado presente no tempo t para um estado futuro no tempo $t + 1$. Em termos simples, é a chance de estar num determinado estado no próximo instante de tempo, dado o estado atual. Da mesma forma, a probabilidade de transição de m -estados é a probabilidade de transitar de um estado no tempo t para um estado no tempo $t + m$. Isso descreve a probabilidade de estar em um determinado estado após m passos de tempo, dado o estado atual.

As probabilidades de transição de 1-estado podem ser representadas de forma conveniente usando uma matriz de transição, onde, as linhas representam os estados presentes

possíveis, as colunas os estados futuros possíveis e cada entrada na matriz representa a probabilidade de transição de um estado presente i para um estado futuro j . A matriz de transição deve satisfazer duas propriedades importantes:

- 1) Todas as probabilidades são positivas:

$$P_{ij} \geq 0, \text{ para todos } i \text{ e } j$$

- 2) A soma das probabilidades de transição a partir de qualquer estado presente é 1:

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1, \text{ para todos } i.$$

Isso significa que se somarmos todas as probabilidades de transição de um estado presente i para todos os possíveis estados futuro j a soma deve ser igual a 1. Essa propriedade segue a regra da adição para eventos mutuamente exclusivos e exaustivos (Guazzelli, 1993).

2.2 Cadeias De Markov

As cadeias de Markov têm as suas origens na teoria desenvolvida por Andrey Markov no início do século XX. Markov, foi um matemático russo, que expandiu o trabalho de Bernoulli sobre variáveis dependentes e introduziu a ideia de processos estocásticos em que o futuro depende apenas do estado presente, sem levar em conta os estados passados. Para ilustrar a sua teoria, ele utilizou um modelo com duas "máquinas" de estados, cada uma contendo bolas de cores diferentes. Esse modelo demonstrou que, mesmo em processos onde há dependência de eventos anteriores, é possível atingir um equilíbrio com uma distribuição de probabilidade estável. Essa abordagem, conhecida como cadeias de Markov, foi pioneira na análise de sequências de eventos aleatórios e tornou-se uma ferramenta fundamental em várias áreas da matemática e estatística (MAGELA, 2015). Segundo Da Silva e Júnior (2011), a cadeia de Markov é um processo estocástico com a propriedade markoviana, na qual os estados anteriores não afetam a previsão dos próximos estados, desde que o estado atual seja conhecido.

Uma cadeia de Markov é um processo estocástico desmemoriado, isto é, o resultado de qualquer tentativa depende apenas do resultado da tentativa imediatamente anterior, não dependendo das demais tentativas. A condição acima é conhecida como propriedade de Markov.(MAGELA, 2015, p.70)

Este t3pico utiliza um exemplo simples de uma cadeia de Markov com dois estados em tempo discreto para ilustrar os conceitos fundamentais e a matem3tica subjacente. Uma cadeia de Markov 3 definida por um conjunto de estados e uma matriz de transi33o. Consideramos um sistema Markoviano com dois estados, A e B. A matriz de transi33o 3 uma matriz 2×2 representada pela Equa33o (1) que descreve as probabilidades de transi33o entre esses estados:

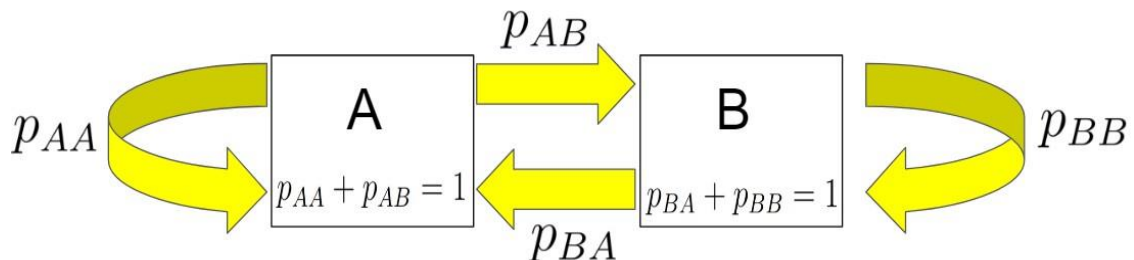
$$\begin{aligned} P(X_{n+1} = A \mid X_n = A) &= p_{AA}, & P(X_{n+1} = B \mid X_n = A) &= p_{AB} \\ P(X_{n+1} = A \mid X_n = B) &= p_{BA}, & P(X_{n+1} = B \mid X_n = B) &= p_{BB} \end{aligned} \quad (1)$$

$$M = \begin{bmatrix} p_{AA} & p_{AB} \\ p_{BA} & p_{BB} \end{bmatrix}$$

Cada elemento dessa equa33o 3 uma probabilidade de transi33o de um estado presente para um estado futuro. Por exemplo, p_{AA} 3 a probabilidade de o sistema permanecer no estado A, e p_{AB} 3 a probabilidade de o sistema transitar de A para B e assim sucessivamente para os outros estados.

A Figura 1 ilustra os 4 elementos da matriz de transi33o e a Figura 2 ilustra os processos envolvidos nas equa33es recursivas da cadeia de Markov de 2 estados.

Figura 1 - Elementos da matriz de transi33o.



Fonte: Autora (2024)

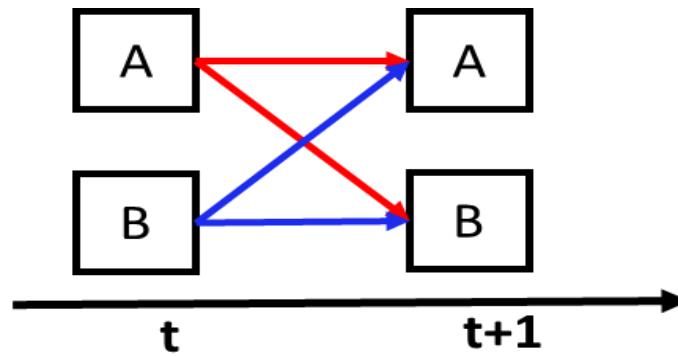
Onde as setas indicam as possibilidades de transi33o para cada estado.

De acordo com Fonseca e Martins (2010, p.20) para um espaço amostral finito $S=\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, cada evento simples a_i é associado a uma probabilidade p_i , onde:

$$p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$$

A probabilidade de entrada em cada estado somado com a probabilidade de saída deve ser 100%. Isso se baseia no fato de que a soma das probabilidades dos eventos que formam o espaço amostral deve totalizar 1, visto que algum dos eventos deve ocorrer com certeza.

Figura 2 - Processos envolvidos.

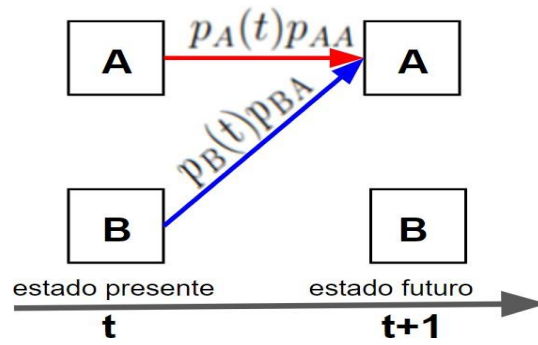


Fonte: Autora, 2024.

Na Figura 2, temos a demonstração de como os processos evoluem temporalmente. Utilizamos equações recursivas, onde, estas equações são baseadas na ideia de que as probabilidades futuras dependem das probabilidades presentes. Para encontrar a probabilidade de estar no estado A no tempo $t + 1$, $p_A(t + 1)$, consideramos duas possibilidades, ilustradas na Figura 3:

1. O sistema estava no estado A no tempo t e permaneceu em A. Isso ocorre com probabilidade $p_{AA} \cdot p_A(t)$.
2. O sistema estava no estado B no tempo t e transitou para A. Isso ocorre com probabilidade $p_{BA} \cdot p_B(t)$.

Figura 3: Evolução das transições ao longo do tempo para o estado A.



Fonte: Autora, 2024.

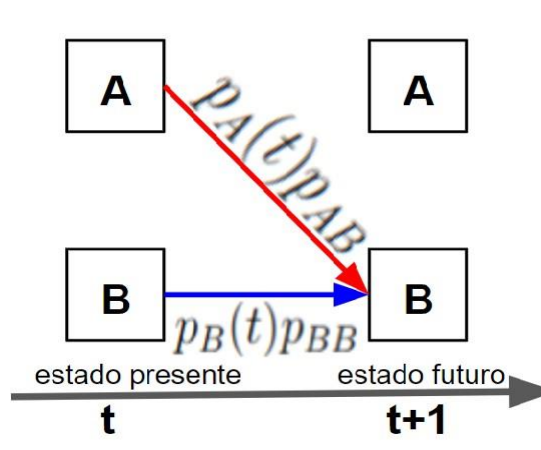
Somando essas duas possibilidades, temos a Equação (2):

$$p_A(t + 1) = p_{AA} \cdot p_A(t) + p_{BA} \cdot p_B(t) \quad (2)$$

De forma análoga, para a probabilidade de estar no estado B no tempo $t + 1$, $p_B(t + 1)$, consideramos, duas probabilidades, ilustrada na Figura 4:

1. O sistema estava no estado A no tempo t e transitou para B. Isso ocorre com probabilidade $p_{AB} \cdot p_A(t)$.
2. O sistema estava no estado B no tempo t e permaneceu em B. Isso ocorre com probabilidade $p_{BB} \cdot p_B(t)$.

Figura 4: Evolução das transições ao longo do tempo para o estado B.



Fonte: Autora, 2024.

Somando essas duas possibilidades, temos a Equação (3):

$$p_B(t + 1) = p_{AB} \cdot p_A(t) + p_{BB} \cdot p_B(t) \quad (3)$$

Essas equações recursivas permitem calcular as probabilidades de estar em cada estado à medida que o tempo avança, proporcionando uma maneira de modelar sistemas que mudam ao longo do tempo.

2.2.1 Aspectos práticos

Para iniciar a reprodução prática, foi utilizado a aplicação de Guazzelli (1993) que formula um processo com cadeia de Markov, que considera os registros históricos de conformidades e não conformidades relativas ao padrão de concentração de mercúrio em águas superficiais numa determinada estação de monitoramento bimestral.

O primeiro passo foi definir os possíveis estados que o sistema poderia assumir. Foram descritos dois estados discretos:

$X_t = A$ se a amostra se apresenta conforme, ou

$X_t = B$ se a amostra se apresenta não conforme, no bimestre t.

O segundo passo foi definir o conjunto de tempo T, sendo composto pelo bimestre em que as amostras foram coletadas, que totalizaram 18, e o conjunto de estado S.

$$T = \{1, 2, 3, \dots, 18\}$$

$$S = \{A, B\}$$

O terceiro passo foi a identificação das transições, onde, para cada bimestre é observada uma amostra conforme ou não conforme e essas observações foram registradas. Com esses dados pode-se calcular as probabilidades de transição entre os estados. Os registros históricos dos 18 bimestres foram:

$$X_t = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_{18}\} = \{A, A, B, B, B, B, B, B, A, A, B, A, B, A, B, A, B, A\}$$

Em seguida foram identificadas as possíveis transições, que são as seguintes:

$$A \rightarrow A$$

$$A \rightarrow B$$

$$B \rightarrow A$$

$$B \rightarrow B$$

onde:

$$A \rightarrow A : X_1 \rightarrow X_2 \text{ e } X_9 \rightarrow X_{10} \quad (2 \text{ estados})$$

$$A \rightarrow B : X_2 \rightarrow X_3, X_{10} \rightarrow X_{11}, X_{12} \rightarrow X_{13}, X_{14} \rightarrow X_{15} \text{ e } X_{16} \rightarrow X_{17} \quad (5 \text{ estados})$$

$$B \rightarrow A : X_8 \rightarrow X_9, X_{11} \rightarrow X_{12}, X_{13} \rightarrow X_{14}, X_{15} \rightarrow X_{16} \text{ e } X_{17} \rightarrow X_{18} \quad (5 \text{ estados})$$

$$B \rightarrow B : X_3 \rightarrow X_4, X_4 \rightarrow X_5, X_5 \rightarrow X_6, X_6 \rightarrow X_7 \text{ e } X_7 \rightarrow X_8 \quad (5 \text{ estados})$$

A seguir, temos a representação da transição dos estados na matriz 2x2:

	A	B
A	2	5
B	5	5

(4)

O quarto passo foi calcular as probabilidades de transição e de permanência entre os estados que irão compor a matriz de transição:

Probabilidade de permanência em A $(p_{AA}) = \frac{\text{Número de transições de A para A}}{\text{Total de transições a partir de A}} = \frac{2}{7} = 0,29$

Probabilidade de transitar de A para B $(p_{AB}) = \frac{\text{Número de transições de A para B}}{\text{Total de transições a partir de A}} = \frac{5}{7} = 0,71$

Probabilidade de permanência em B $(p_{BB}) = \frac{\text{Número de transições de B para B}}{\text{Total de transições a partir de B}} = \frac{5}{10} = 0,5$

Probabilidade de transitar de B para A $(p_{BA}) = \frac{\text{Número de transições de B para A}}{\text{Total de transições a partir de B}} = \frac{5}{10} = 0,5$

Com os dados anteriores, foi possível montar a tabela 2 com a seguinte matriz de transição:

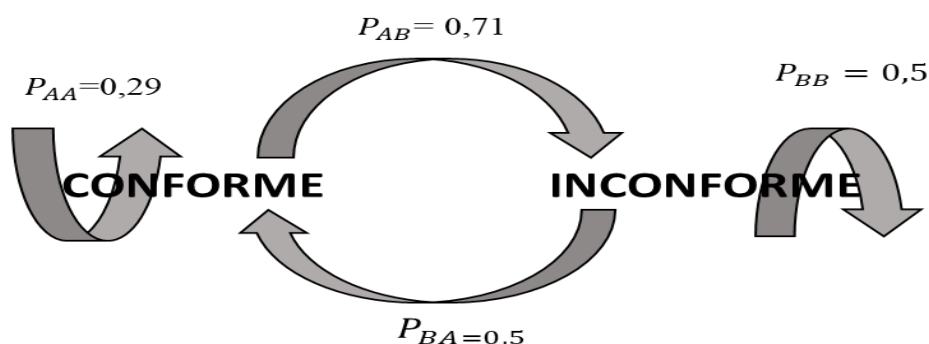
Tabela 2 - Matriz de transição

Matriz de transição		
	A	B
A	0,29	0,71
B	0,5	0,5

Fonte: Autora, 2024.

A matriz pode ser representada graficamente, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Representação do grafo da matriz para o exemplo dado.



Fonte: Adaptado de Guazzelli (1993).

Utilizou-se as equações de Markov (1) e (2) para calcular o problema e obteve-se os seguintes resultados:

$p(A) = 0,4132231$ conforme e

$p(B) = 0,5867769$ não conforme.

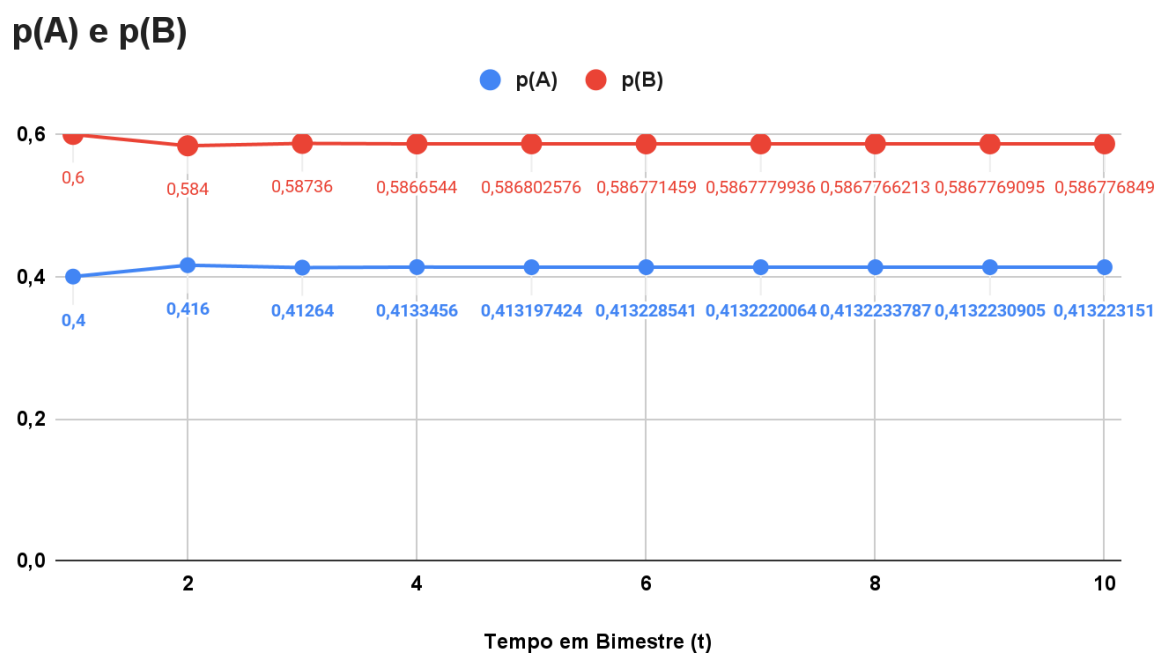
2.2.2 Simulação de cadeias de Markov utilizando o Excel

Utilizando o Excel para simular a conformidade ou não conformidade com o padrão de concentração de mercúrio em águas superficiais, conforme o estudo de Guazzelli (1993), obtivemos os resultados apresentados na Figura 6. No gráfico, o eixo y representa as probabilidades de estar no estado “conforme” $p(A)$ e “não conforme” $p(B)$, enquanto o eixo x representa o tempo (ou o número de iterações).

Os valores demonstrados na Figura 6 indicam que, ao longo do tempo, a proporção de amostras no estado “conforme” aumenta ligeiramente de 0,4 para 0,4132, enquanto a proporção de amostras no estado “não conforme” diminui de 0,6 para 0,5868, até que ambas se estabilizam nesses valores. Esse comportamento reflete a natureza das probabilidades de estado estacionário, sendo alcançadas quando as condições de transição entre os estados, conforme definidas pela matriz de transição, permanecem constantes. Assim, o vetor de probabilidades inicial se torna irrelevante, pois as probabilidades mudam inicialmente, mas acabam se estabilizando ao longo do tempo. Em outras palavras, quando o vetor de probabilidades se torna estacionário, ele converge para os valores de equilíbrio, independentemente das probabilidades iniciais.

Isso é evidenciado no APÊNDICE C, que mostra que, após várias iterações, o sistema atinge um estado de equilíbrio. Nesse estado, a probabilidade de qualquer amostra estar nos estados “conforme” ou “não conforme” permanece constante, com uma tendência de cerca de 60% das amostras permanecerem no estado “não conforme”. Isso demonstra que o sistema alcançou o equilíbrio na sua distribuição de probabilidades.

Figura 6 - Gráfico da evolução temporal da probabilidade de conformidade ou não conformidade.



Fonte: Autora, 2024.

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação da pesquisa

Segundo Popper (2004) a pesquisa é essencial na ciência, pois nos permite compreender melhor a realidade que investigamos. É um processo contínuo e em constante evolução. A pesquisa científica desempenha um papel fundamental no avanço do conhecimento em diversas áreas do saber. Para garantir a clareza e a precisão dos estudos realizados, é essencial classificar adequadamente a natureza, os objetivos, a abordagem e o método empregados na pesquisa.

Este trabalho é classificado como pesquisa de base visando ampliar o conhecimento sobre a utilização de Cadeias de Markov na Engenharia de Produção. De acordo com Nascimento (2016), a pesquisa de base (ou pesquisa básica) é orientada para o desenvolvimento de novos conhecimentos com o objetivo de avançar na ciência, procurando verdades temporárias e relativas. Esse tipo de pesquisa tem um interesse mais amplo e não necessariamente se preocupa com a aplicação prática imediata dos resultados.

Os objetivos deste estudo incluem aspectos descritivos e exploratórios, fornecendo uma visão detalhada das ferramentas computacionais mais usadas e áreas de aplicação e compreendendo as tendências e padrões dessas aplicações ao longo do tempo. A abordagem adotada é predominantemente qualitativa, complementada por elementos quantitativos, permitindo uma análise profunda e contextualizada dos dados. Segundo Da Fonseca (2002), a pesquisa qualitativa se preocupa com aspectos da realidade que não podem ser medidos quantitativamente, focando na compreensão e explicação da dinâmica das relações sociais.

O método utilizado é o indutivo, baseado na análise de casos específicos para desenvolver generalizações sobre o uso de cadeias de Markov na Engenharia de Produção, permitindo a identificação de padrões e tendências emergentes. Diniz (2018) explica que o método indutivo possibilita que o pesquisador, por meio da observação de casos específicos, formular leis e teorias gerais, avançando de constatações particulares para inferências amplas.

Para alcançar os objetivos propostos, foram adotados procedimentos de pesquisa bibliográfica que consistem na revisão sistemática da literatura existente sobre o tema, incluindo artigos, trabalhos de conclusão de curso (TCC), dissertações de mestrado e teses de doutorado. Portanto, a pesquisa bibliográfica oferece uma vasta gama de informações e facilita a utilização de dados dispersos em várias publicações, contribuindo para a construção ou aprimoramento do quadro conceitual relacionado ao objeto de estudo proposto (Gil, 1994).

3.2 Seleção dos documentos

Para a seleção inicial dos documentos que seriam materiais de estudo desta pesquisa, foi realizada uma busca em bases de dados reconhecidas e amplamente utilizadas na Engenharia de Produção como:

1. ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção);
2. Catálogo de teses e dissertações CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior);
3. Periódicos CAPES;
4. BDTD (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações); e
5. Google Acadêmico.

As palavras-chave utilizadas foram “Markov” e “Cadeias de Markov” AND “Engenharia de Produção”. Além disso, foram considerados os resultados da análise nacional de Silva (2024).

No estudo de Silva (2024), foram analisados 34 documentos. No catálogo de teses e dissertações da CAPES e periódicos CAPES, foram encontrados 29 documentos, dos quais 10 foram selecionados, enquanto os restantes eram duplicados ou tinham acessos indisponíveis. Na base de dados do ENEGEP, foram encontrados 34 documentos. Na BDTD, foram encontrados 14 documentos, dos quais 3 não eram duplicados, e por fim foi incluído um documento encontrado no Google Acadêmico que fez sentido para a nossa análise, totalizando 95 trabalhos selecionados (APÊNDICE B).

Estes resultados foram obtidos no período de 21 de abril a 22 de maio de 2024 e a seleção foi feita através de uma leitura flutuante no corpo dos trabalhos e através da busca com palavras-chave como “estima”, “python”, “arena”, “excel”, “software”, “linguagem”, “programa”, “ferramenta”, e “script”.

3.3 Critérios e instrumentos de pesquisa

Com o intuito de descobrir quais são as tendências de utilização dessas ferramentas, utilizamos todos os dados encontrados. As primeiras publicações sobre o tema foram em 1997 e foram utilizados os estudos publicados até a presente data.

Foram incluídos estudos que demonstram a aplicação prática das Cadeias de Markov em diferentes contextos da Engenharia de Produção. Estes estudos forneceram exemplos concretos e detalhados de implementações bem-sucedidas. E excluídos os documentos que não citam Cadeias de Markov, documentos incompletos, duplicados e de difícil acesso

Utilizou-se a análise bibliográfica para mapear a produção científica sobre Cadeias de Markov na Engenharia de Produção, com o intuito de encontrar a maior quantidade de pesquisas que abordam o tema, cujo foco era encontrar quais eram os softwares utilizados, nas diferentes áreas, de apoio às aplicações de Cadeias de Markov.

3.4 Procedimentos de Análise dos dados

Após realização da busca nas bases de dados, os documentos foram organizados em planilha, separando cada documento e as principais questões a serem observadas, como, por exemplo, o ano, autores, instituição, além das classificações mais técnicas que compõem esse trabalho, como, qual o software utilizado, qual o tamanho da matriz de Markov, objetivos, principais métricas estimadas, linguagem de programação, setor de aplicação, área de aplicação, entre outros. Os documentos também foram classificados segundo 10 áreas definidas pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), conforme listadas abaixo:

1. Engenharia de Operações e Processos da Produção;
2. Cadeia de Suprimentos;
3. Pesquisa Operacional;
4. Engenharia da Qualidade;
5. Engenharia do Produto;
6. Engenharia Organizacional;
7. Engenharia Econômica;
8. Engenharia do Trabalho;
9. Engenharia da Sustentabilidade; e

10. Educação em Engenharia de Produção.

Este procedimento, nos permitiu analisar e quantificar através de gráficos as tendências de utilização dos softwares como apoio a aplicação de Cadeias de Markov na Engenharia de produção, áreas e setores de aplicação.

Para compreender os principais focos e objetivos dos trabalhos relacionados à aplicação de cadeias de Markov na Engenharia de Produção, coletamos os objetivos dos estudos listados no Apêndice A. Esses objetivos foram extraídos e compilados num único documento para facilitar a análise subsequente.

O documento compilado foi submetido a um processamento de texto que envolveu a remoção de palavras triviais (como artigos, preposições e conjunções) que não contribuem significativamente para a análise. Este passo garantiu que as palavras mais relevantes fossem destacadas na visualização.

Utilizamos um gerador de nuvens de palavras on-line WordArt (<<https://wordart.com/>>) para criar uma nuvem de palavras a partir do texto processado. Este software facilita a visualização das palavras mais frequentes e significativas, permitindo uma identificação rápida dos principais temas e conceitos presentes nos objetivos dos estudos analisados. Após a geração da nuvem de palavras, foi realizada uma limpeza para remover palavras que se repetiam, resultando numa representação mais clara dos dados.

3.5 Limitações da pesquisa

Nesta seção, detalham-se as limitações encontradas ao longo da pesquisa. Uma limitação significativa desta pesquisa é que nem todos os trabalhos deixam explícito os softwares utilizados, o que gera dúvidas se os autores usaram e não mencionaram ou apenas não utilizaram. Ou seja, a falta de informação detalhada sobre os recursos computacionais utilizados foi um desafio encontrado nesta pesquisa.

Além disso, especificamente não foi possível encontrar até a presente data 30/07/2024 o PDF dos seguintes trabalhos:

1. ALVES, Mariane Branco. **Confiabilidade estrutural por simulação de Monte Carlo com cadeias de Markov**. 1999. Tese de Doutorado.
2. ROCHA, Nei Carlos dos Santos. **Filtragem para Sistemas Lineares a Tempo Contínuo com Saltos Markovianos nos Parâmetros**. Doutorado em Engenharia de Produção Instituição de Ensino: Universidade Federal Do Rio

- de Janeiro, Rio de Janeiro Biblioteca Depositária: Biblioteca Central - Bloco B - CT. 2004.
3. MORAES, Fernanda de Freitas. **Modelo multicritério baseado em cadeia de Markov e método de arrependimento aplicado em descomissionamento de óleo e gás.** Mestrado em Engenharia de Produção na instituição de ensino: Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2021.
 4. MAZUCHELI, Josimar. **Modelos de múltiplos riscos e de mistura em análise de sobrevivência.** Doutorado em Engenharia de Produção na Instituição de Ensino: Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro Biblioteca Depositária: Centro de Tecnologia bloco B. 2002.
 5. ALMEIDA, Bernardo Faria De. **Análise de decisões de oferta de Áreas na regulação da exploração de petróleo e gás natural no Brasil.** Doutorado em Engenharia de Produção na Instituição de Ensino: Universidade Federal Do Rio De Janeiro. 2016.
 6. SABOYA, Renato Penna. **Estimativas para preços de ativos condicionados ao estado na economia brasileira: Uma aplicação em decisões de investimento.** Mestrado em Engenharia de Produção Instituição de Ensino: Pontifícia Universidade Católica Do Rio De Janeiro.1990.
 7. NEVES, Cesar Da Rocha. **Graduação Bayesiana de taxas de mortalidade.** Mestrado em Engenharia de Produção na Instituição de Ensino: Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro Biblioteca Depositária: Central do CT. 2004.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

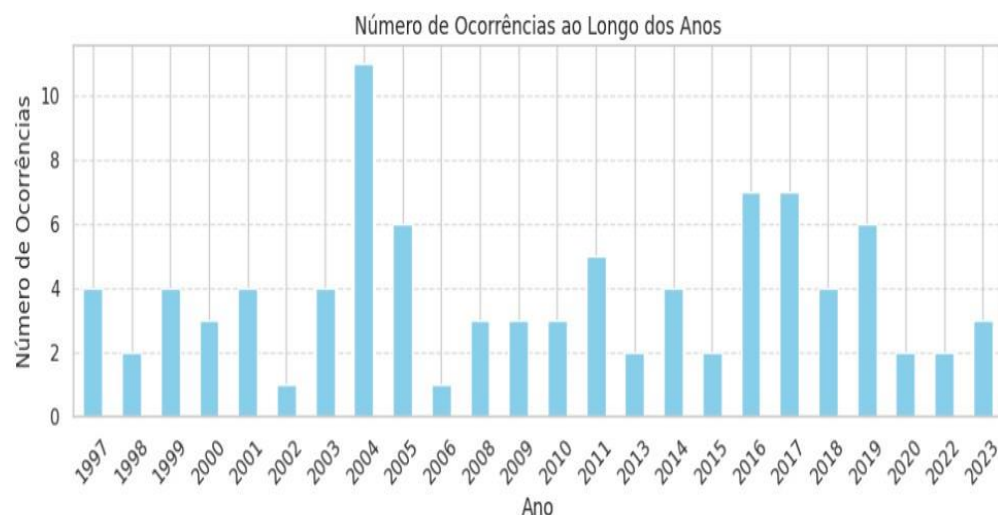
Neste capítulo, apresentaremos os principais resultados obtidos a partir da revisão de literatura sobre as principais ferramentas computacionais de apoio às aplicações de Cadeias de Markov na Engenharia de Produção. O objetivo desta etapa é analisar e discutir os estudos selecionados, destacando as principais tendências de aplicação e os padrões identificados.

Inicialmente, forneceremos uma visão geral dos estudos revisados, incluindo detalhes sobre, anos de publicação, áreas e setores de aplicação, software utilizado (se aplicável), linguagem utilizada (se aplicável) e principais métricas avaliadas segundo as bases de dados da ABEPRO, ENEGEP, CAPES e BDTD. Em seguida, apresentaremos gráficos e tabelas que visualizam essas informações de forma clara e concisa, facilitando a compreensão dos padrões identificados.

4.1 Análise dos Resultados

Na Figura 7 é demonstrado a quantificação de trabalhos publicados por ano nas bases de dados com as palavras-chave, onde as primeiras publicações foram no ano de 1997, com 4 trabalhos publicados. E os anos que mais tiveram trabalhos com a temática deste estudo, foram, 2004, 2016 e 2017, com, respectivamente, 11, 7 e 7 publicações.

Figura 7 - Evolução Anual do Número de Trabalhos Publicados.

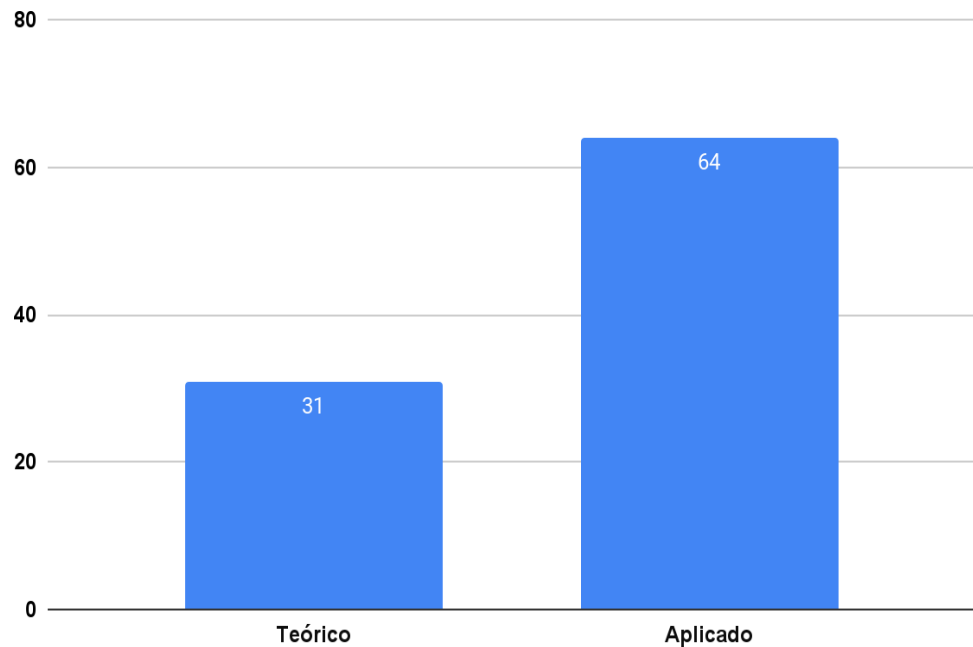


Fonte: Autora (2024).

Além de analisar a evolução dos trabalhos publicados ao longo do tempo, categorizamos esses documentos em dois grupos: trabalhos teóricos e aplicados. A Figura 8

ilustra a quantificação desses trabalhos, onde o eixo X representa a classificação dos trabalhos, e o eixo Y indica o número de trabalhos em cada categoria.

Figura 8 - Quantificação dos trabalhos: Teóricos vs. Aplicados.



Fonte: Autora (2024)

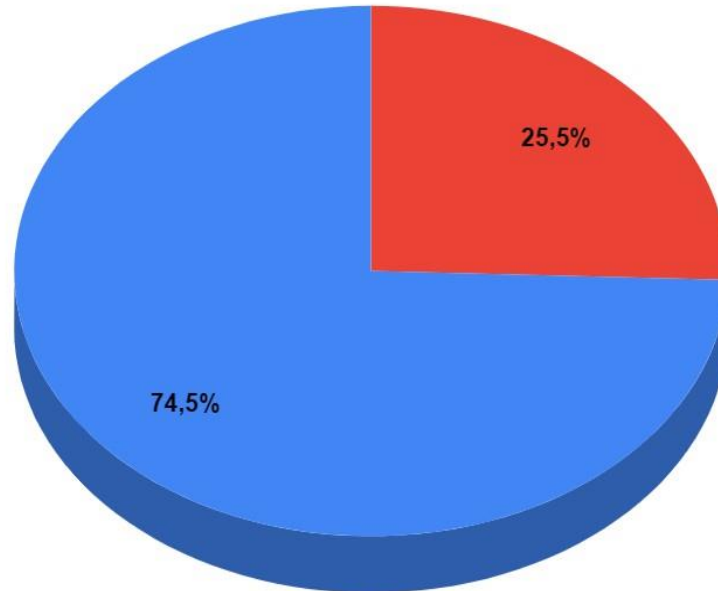
Observamos que a maioria dos trabalhos na nossa amostra foram classificados como aplicados, representando aproximadamente 67% do total. Isso sugere um forte interesse na aplicação prática das Cadeias de Markov na Engenharia de Produção. No entanto, também identificamos uma proporção significativa de trabalhos teóricos, indicando uma busca por compreensão conceitual e desenvolvimento na área.

Para complementar a nossa análise, examinamos se os trabalhos envolveram ou não o uso de linguagens de programação. A Figura 9, nos mostra que 74,5%, representado pela cor azul, dos trabalhos utilizaram linguagem de programação, enquanto 25,5%, representado pela cor vermelha, não deram essa informação.

Figura 9 - Tendências de utilização de Linguagens de Programação: porcentagem de uso e não uso.

O trabalho usou alguma linguagem de programação?

● NÃO ● SIM

**Fonte:** Autora (2024)

Após essa análise, podemos explorar outra dimensão técnica importante que é a utilização de softwares: porcentagem entre utilização e não utilização. De acordo com a Figura 10, observamos que 52 trabalhos, correspondentes a 54,7% do total, não mencionaram explicitamente o software utilizado, enquanto que os restantes 45,3% dos trabalhos forneceram essa informação. Essa constatação destaca a relevância de fornecer informações detalhadas sobre as ferramentas utilizadas, o que pode contribuir para a transparência e replicabilidade da pesquisa.

Figura 10 - Padrões de utilização de software: porcentagem entre utilização e não Utilização

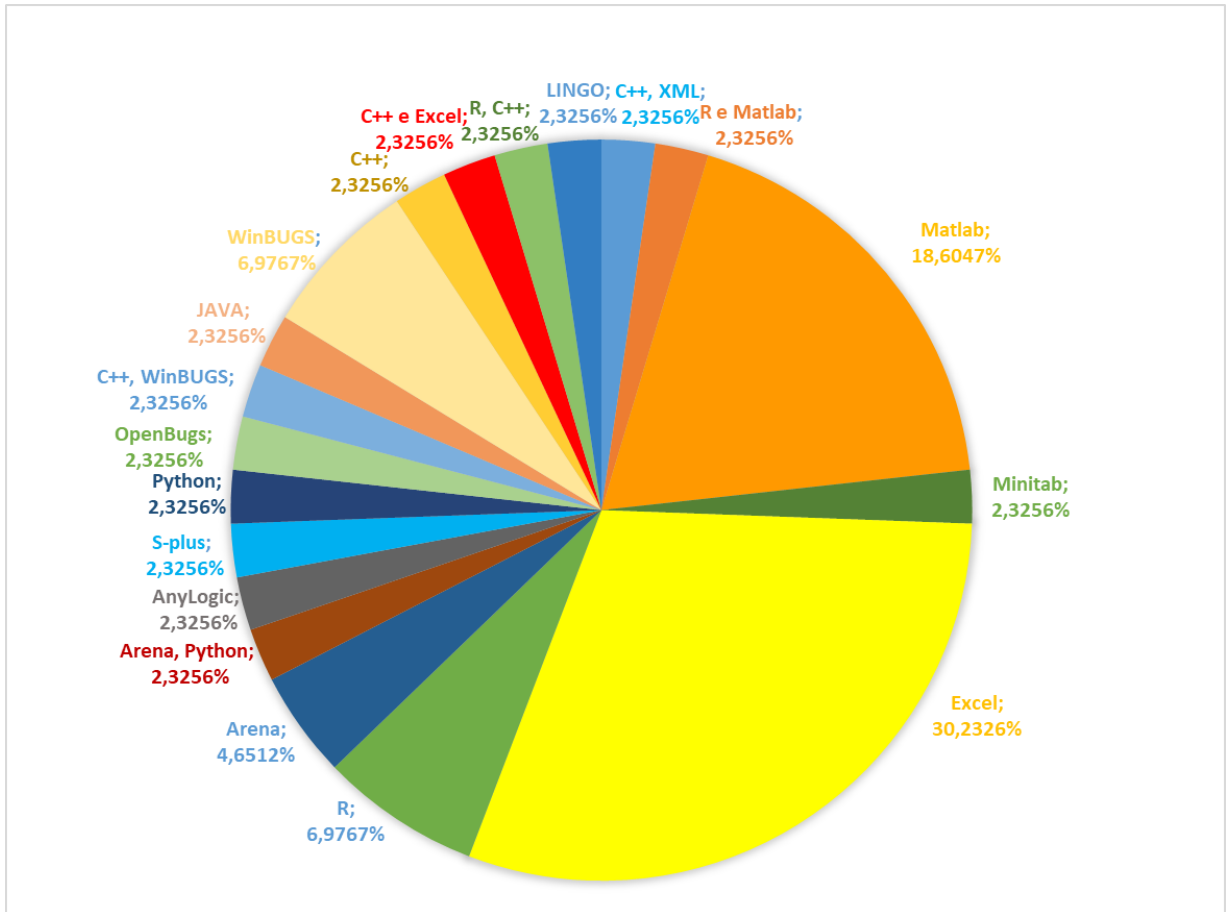


Fonte: Autora (2024)

Agora, vamos explorar mais a fundo as ferramentas computacionais utilizadas pelos autores nos trabalhos analisados. Na Figura 11, apresentamos os softwares mencionados nos estudos que forneceram esta informação.

Foram identificados 14 tipos diferentes de softwares, onde, notavelmente, o Microsoft Excel lidera com 30,23 % de aplicações, o Matlab (18,60%), o WinBUGS (6,97%), o R (6,8%), e o Arena (4,65%), destacam-se com sua frequência de utilização significativa.

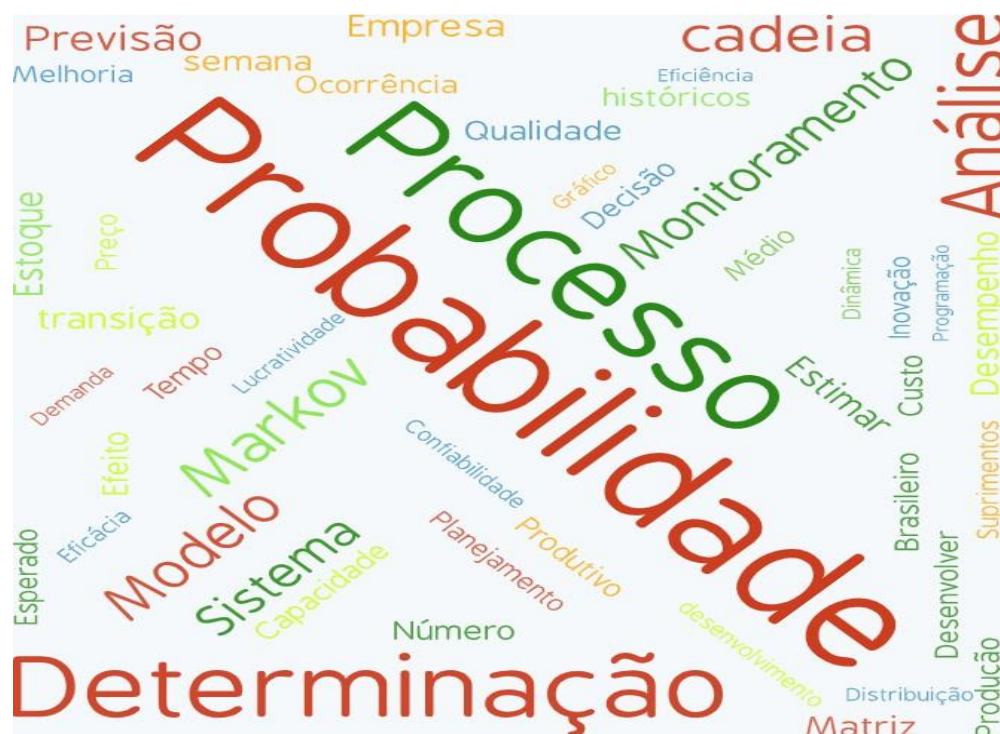
Figura 11 - Distribuição Percentual das Ferramentas Computacionais Utilizadas nos Estudos Analisados.



Fonte: Autora (2024)

Na Figura 12, apresentamos uma nuvem de palavras que foi gerada utilizando os objetivos de todos os trabalhos incluídos na nossa revisão sistemática. Esses objetivos foram identificados e organizados em uma planilha, conforme mostrado no Apêndice B. A representação visual foi feita com o software WordArt (<<https://wordart.com/>>), onde fornecemos ao software todos os objetivos coletados gerando, assim, a nuvem de palavras, que mostra as palavras mais usadas. Com esse tipo de representação visual podemos destacar o que é mais importante em tais objetivos. Note que as palavras “Probabilidade” “Determinação” e “Processo” tem maior destaque e maior importância relativa. Isso reflete a importância dos processos estocásticos e das cadeias de Markov para modelar e prever comportamentos em sistemas produtivos. Observa-se que o uso de cadeias de Markov está amplamente relacionado à estimativa de probabilidades. Na referida figura vemos que tais estimativas podem estar associadas a processos em geral, monitoramentos, controles e tópicos correlatos, destacando a versatilidade das cadeias de Markov.

Figura 12 - Nuvem de palavras da frequência dos termos presentes nos objetivos dos trabalhos, indicados no apêndice.

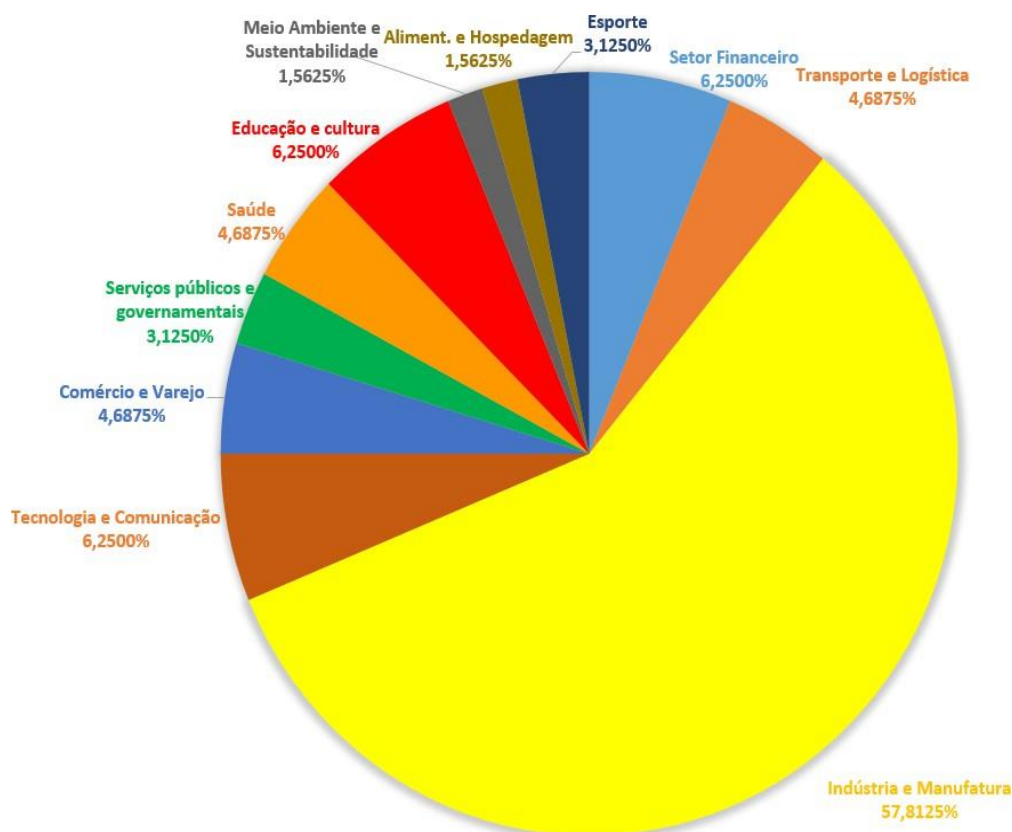


Fonte: Autora (2024)

Após examinarmos as ferramentas computacionais e os objetivos de todos os trabalhos analisados, é importante observar os setores que empregaram metodologias, técnicas e ferramentas da Engenharia de Produção com a utilização das cadeias de Markov. Essas tecnologias encontram aplicações variadas em diferentes setores que adotam estratégias da Engenharia de Produção.

Na Figura 13, exploraremos os setores de aplicação, destacando onde as Cadeias de Markov são empregadas em contextos práticos e identificando quais deles mais se beneficiam dessa abordagem analítica.

Figura 13 - Distribuição Percentual dos Setores de Aplicação das Cadeias de Markov.



Fonte: Autora (2024).

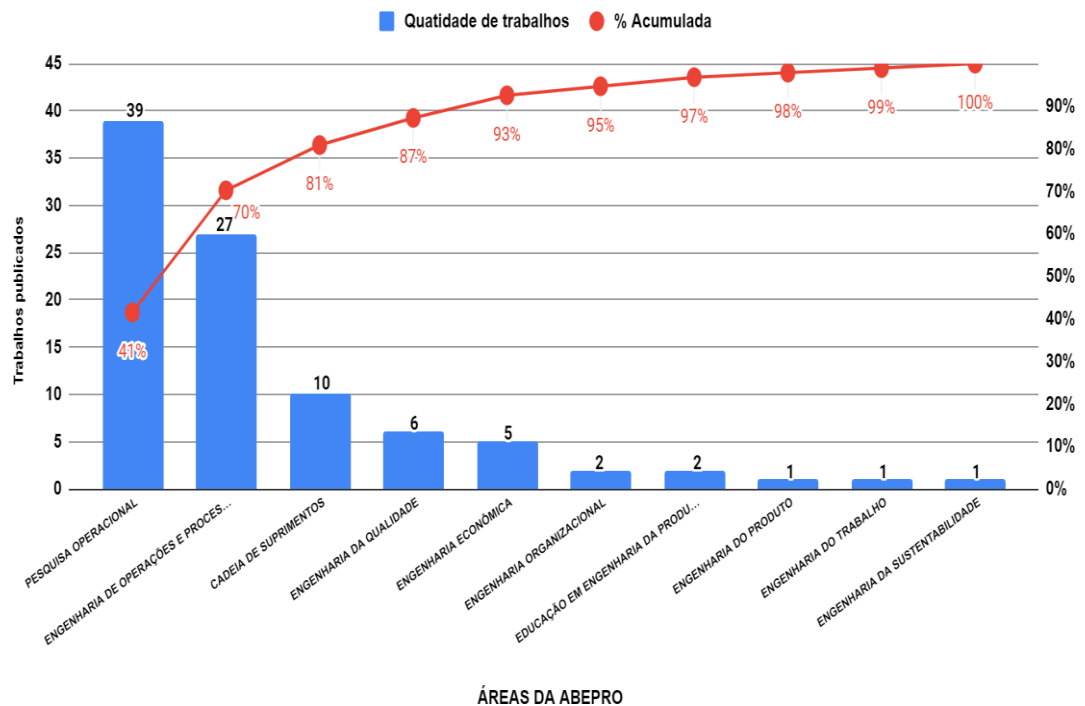
Podemos observar que os setores de Indústria e Manufatura lideram com uma significativa porcentagem de 57,81% no uso de Cadeias de Markov. Esses setores se beneficiam principalmente na otimização de processos, gestão da produção e controle de qualidade, sendo áreas em que a previsão, a otimização e o controle de processos complexos e dinâmicos são essenciais para o aumento da eficiência e redução de custos.

Além disso, o setor Financeiro, Educação e Cultura e Tecnologia e Educação também se destacam, representando 6,25% das aplicações. Outras áreas que merecem menção incluem, saúde (4,68%), Comércio e Varejo (4,68%) e Transporte e Logística (4,68%). E, embora menos representados, os setores de Esporte, Serviços Públicos e Governamentais, Alimentação e hospedagem, meio ambiente e Sustentabilidade também demonstram usufruir e se beneficiar da aplicabilidade das Cadeias de Markov, contribuindo para uma aplicação diversificada e abrangente dessa técnica.

Esses setores, embora distintos, compartilham a necessidade de prever comportamentos, otimizar processos e tomar decisões baseadas em dados, o que explica o uso diversificado das cadeias de Markov.

Para que pudéssemos compreender a distribuição dessas aplicações, foi realizado um Gráfico de Pareto, conforme a Figura 14 nos mostra, que relaciona a quantidade de trabalhos publicados (eixo Y) com as áreas específicas da ABEPRO (eixo X).

Figura 14 - Distribuição das Áreas da ABEPRO por Quantidade de Trabalhos Publicados: Gráfico de Pareto.



Fonte: Autora (2024).

O gráfico de Pareto nos permite visualizar de forma geral a relevância das Cadeias de Markov em diferentes domínios da Engenharia de Produção. Ele parte do princípio “80X20” que destaca que uma minoria de áreas está contribuindo significativamente para a maioria dos resultados observados.

Além disso, no gráfico de Pareto, uma linha de porcentagem acumulada é plotada para indicar visualmente a contribuição cumulativa das áreas em relação ao total de trabalhos publicados. Esta linha nos permite compreender de forma mais detalhada a distribuição das aplicações das Cadeias de Markov em diferentes domínios da Engenharia de Produção. Ela mostra, ponto a ponto, a porcentagem acumulada de trabalhos publicados.

Quando essa linha alcança cerca de 80%, destacam-se as três principais áreas de aplicação: Pesquisa Operacional, que teve 39 trabalhos publicados, seguida pela Engenharia de Operações e Processos da Produção, com 27 trabalhos, e Cadeias de Suprimentos, com 10 trabalhos. Surpreendentemente, essas 3 áreas, representando apenas 30% do total de áreas,

contribuem conjuntamente com 81% do total de trabalhos publicados segundo as áreas da ABEPRO.

Na **Pesquisa Operacional**, as Cadeias de Markov podem atuar de forma crucial para maximizar lucros e minimizar custos, ajudando a otimizar decisões e melhorar o desempenho dos sistemas. Elas ajudam a modelar e resolver problemas complexos de decisão e gerenciamento. Em **Engenharia de Operações e Processos da Produção**, elas são usadas para aprimorar a gestão de produção e controlar a qualidade, tornando os processos mais eficientes. Já em **Cadeias de Suprimentos**, as Cadeias de Markov facilitam a previsão da demanda e o gerenciamento de estoques, otimizando toda a logística. Essas áreas mostram como as Cadeias de Markov são essenciais na Engenharia de Produção, oferecendo soluções eficazes para problemas complexos e ajudando a alcançar melhores resultados.

4.2 Discussão dos Resultados

Após analisar os resultados desta pesquisa, é pertinente estabelecer uma comparação com trabalhos anteriores que abordaram o mesmo tema, mas com foco em contextos diferentes.

Os resultados presentes nesse estudo, estão em sintonia com pesquisas anteriores. Por exemplo, uma investigação conduzida por Ricardo et al. (2021) sobre aplicações de Teoria das Filas revelou que o Microsoft Excel é a ferramenta mais utilizada, com o Arena também entre os mais mencionados. Outro estudo conduzido por Passos et al. (2017) analisou os softwares mais utilizados no suporte ao ensino de Engenharia Civil, e também observou a predominância do Excel e do Matlab nas suas descobertas. Os padrões de uso podem ser atribuídos a várias razões. O Excel é acessível e familiar para muitos, sendo conveniente devido à inclusão no pacote Office. O Matlab destaca-se por sua computação numérica avançada e análise de dados, sendo popular em áreas que exigem análises complexas. O Arena, embora tenha limitações na sua versão gratuita, oferece análise e simulação úteis para os estudos.

Em linha com os achados de Ricardo et al. (2021), a presente pesquisa também evidenciou uma lacuna na especificação de ferramentas tecnológicas em estudos de teoria das filas. Enquanto 54% dos estudos analisados por Ricardo et al. (2021) reportaram o uso de algum tipo de ferramenta, 46% não o fizeram. Em consonância com tais autores, este estudo revelou que 45,3% dos participantes utilizavam software, enquanto 54,7% não especificaram se usavam algum software.

Em termos de similaridades, este trabalho se assemelha ao estudo de Silva (2024), pois ambos abordam a aplicação de Cadeias de Markov na Engenharia de Produção. No entanto, a pesquisa de Silva (2024) diferenciou-se por fazer uma comparação entre o cenário nacional e internacional e analisar as grandes áreas envolvidas.

Este trabalho trouxe várias novidades em relação aos trabalhos anteriores já mencionados. O número de bases de dados pesquisadas foi expandido, proporcionando uma análise mais abrangente. Além disso, este estudo aprofundou-se na análise nacional, trazendo uma avaliação detalhada das tecnologias utilizadas para aplicar Cadeias de Markov na Engenharia de Produção e não se limitando apenas aos departamentos de Produção. A busca foi mais extensa onde fizemos uma análise detalhada dos setores de aplicação conforme mostra a Figura 13, diferenciando e complementando o trabalho de Silva (2024). Além disso, fornecemos um guia prático de aplicação, um passo a passo de como utilizar as cadeias de Markov no Excel.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho, investigamos as ferramentas de apoio às aplicações de cadeias de Markov na Engenharia de Produção. Utilizando uma metodologia qualitativa e quantitativa, incluindo o método indutivo e uma revisão bibliográfica abrangente, alcançamos resultados significativos que contribuem para o entendimento das ferramentas computacionais utilizadas nesta área. Isso permitiu-nos mapear tendências emergentes e identificar os softwares mais utilizados.

Os resultados revelaram que ferramentas como Excel, Matlab, Arena, WinBUGS e R são amplamente empregadas para suportar a aplicação de cadeias de Markov em diversos contextos da Engenharia de Produção. A análise temporal das publicações indicou um uso consistente dessas ferramentas desde a década de 1990, com uma crescente diversidade de aplicações nos setores industrial, financeiro, educacional e tecnológico.

As nossas descobertas mostraram que 45,3% dos estudos fornecem explicitamente a indicação do software empregado, enquanto 54,7% não especificaram o uso de ferramentas tecnológicas. Esses achados estão alinhados com estudos anteriores, como o de Ricardo et al. (2021). Esta observação nos mostra a importância de fornecer informações detalhadas sobre o uso das ferramentas utilizadas, o que pode contribuir para a transparência e replicabilidade da pesquisa.

Este estudo contribui de maneira significativa para a compreensão das tendências e padrões na utilização de ferramentas computacionais em aplicações de cadeias de Markov. Ao comparar os nossos resultados com estudos anteriores, como o de Silva (2024), ampliamos a base de dados pesquisada e fornecemos uma análise mais detalhada do cenário brasileiro. Além disso, identificamos as áreas da Engenharia de Produção, conforme a ABEPRO, onde essas ferramentas são mais frequentemente aplicadas.

Reconhecemos que a ausência de detalhamento sobre os recursos tecnológicos em alguns estudos limitou esta pesquisa, pois dificultou a obtenção de um resultado mais preciso, uma vez que a maioria dos trabalhos analisados, não nos deram essa informação. Além disso, outra limitação foi a dificuldade em acessar o PDF de alguns documentos, porém, isso não afeta substancialmente os nossos resultados, uma vez que foi uma pequena porcentagem. Então, este estudo foi validado por uma amostra de 95 trabalhos, que representa mais de 90%, contribuindo significativamente para fundamentar e corroborar as análises realizadas.

Para futuras pesquisas, recomendamos uma análise mais aprofundada das aplicações práticas de cadeias de Markov em setores específicos da Engenharia de Produção.

Estudos comparativos entre contextos regionais e internacionais também podem fornecer insights valiosos. E por fim, recomendamos uma análise da integração das cadeias de Markov com outras técnicas de simulação, podendo contribuir para o avanço contínuo nesta área.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Rui; DELGADO, Catarina. **Processos estocásticos**. Faculdade de Economia Universidade de Porto. 1997.
- BASTOS, Yuri Falcão. **Quantização estocástica de Nelson e processos estocásticos**. 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- CAMARGO, Brígido Vizeu; JUSTO, Ana Maria. **Tutorial para uso do software de análise textual IRAMUTEQ**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, pág. 1-18, 2013.
- COLOMBO, Danilo. **Proposição de um modelo Markoviano de apoio ao gerenciamento de riscos à integridade de poços submarinos**. 2018.
- DA FONSECA, Jairo Simon; DE ANDRADE MARTINS, Gilberto. Curso de Estatística, 6ª edição. **São Paulo, Atlas**, 2010.
- DA FONSECA, João José Saraiva. **Apostila de metodologia da pesquisa científica**. João José Saraiva da Fonseca, 2002.
- DA SILVA, Elcio Brito et al. **Automação & Sociedade: Quarta Revolução Industrial, um olhar para o Brasil**. Brasport, 2018.
- PASSOS, Denis da Silva; VENEGA, Virginia de Souza; ROCHA, Marcelo Lisboa. **Softwares para suporte no ensino de engenharia civil: um mapeamento sistemático do uso nas instituições brasileiras**. Revista Cereus, v. 9, n. 4, p. 2-18, 2017.
- DA SILVA, Rodolfo Romualdo. **Inferência Bayesiana via simulação estocástica com implementação no programa WINBUGS**. Rio de Janeiro: SBPO, 2002.
- DA SILVA, Tallyta Carolyne Martins; JÚNIOR, Valdivino Vargas. **Cadeias de Markov: Conceitos e aplicações em modelos de difusão de informação**. 2011.
- DINIZ, Marco Túlio Mendonça; SILVA, S. D. R. **O Método Indutivo e a pesquisa em Geografia: aplicação no mapeamento de unidades da Paisagem**. Caderno de Geografia, v. 28, n. 54, p. 731-745, 2018.
- FIGUEIREDO, Lincoln Henschel. **Gestão da manutenção: ferramenta de lubrificação para redução de custos e maior confiabilidade**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Estado do Amazonas. 2017.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. ISBN 978-85-224-5142-5.
- GUZZELLI, Milo Ricardo. **Teoria e prática sobre as cadeias de Markov**. Revista Ambiente, v. 7, n. 1, p. 45-51, 1993.
- JÚNIOR, Daniel Pires da Luz. **Modelo de análise da lucratividade baseado em métricas de confiabilidade de três fábricas de uma multinacional do ramo de pneumáticos utilizando**

Cadeias de Markov. 2023. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2023.

LAUGENI, Fernando P.; MARTINS, Petrônio G. **Administração da produção.** 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

MAGELA, M. **Teoria básica das cadeias de Markov.** Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

MARINS, Fernando Augusto Silva. **Introdução à pesquisa operacional.** São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, 2011.

NASCIMENTO, Francisco Paulo do; SOUSA, F. L. Classificação da Pesquisa. Natureza, método ou abordagem metodológica, objetivos e procedimentos. **Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática—como elaborar TCC.** Brasília: Thesaurus, 2016.

NORRIS, James R. **Cadeias de Markov.** Cambridge University Press, 1998.

POPPER, Karl R. **A lógica da pesquisa científica.** Editora Cultrix, 2004.

QUININO, Roberto C.; HO, Linda Lee. **Effects of the preventive and corrective adjustments in economical designs for online process control for attributes with misclassification errors.** Engineering Optimization, v. 42, n. 1, p. 17-31, 2010.

RICARDO, Jonas da Conceição; DE FREITAS, Renildes Matos; TEIXEIRA, Camila Oliveira Pereira. **Um estudo bibliométrico sobre a teoria das filas entre os anos de 2011 a 2021.** Revista Valore, v. 9, p. 9003, 2024.

ROCHA, Lucas dos Santos et al. **Modelo preditivo parcial para o surgimento de trincas com processos estocásticos: Um estudo de caso no estado de Minas Gerais, Brasil.**

ROSS, Sheldon M. **Introdução aos modelos de probabilidade.** Imprensa Acadêmica, 2014.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial.** Moeda da Coroa, 2017.

SCHWAB, Klaus; DAVIS, Nicholas. **Aplicando a quarta revolução industrial.** Edipro, 2019.

SILVA, Júlio C. M. O d. **Cadeias de Markov na Engenharia de Produção:** um panorama das aplicações. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Alagoas. 2024.

SILVA, Rodrigo Sychocki da; BARONE, Dante Augusto Couto; BASSO, Marcus Vinícius de Azevedo. **Cadeias de Markov e tecnologias digitais:** reflexões sobre a construção de conhecimentos dos discentes em licenciatura em Matemática. Ciência & Educação (Bauru), v. 24, p. 695-713, 2018.

FILHO, Adalberto Simão; PEREIRA, Sérgio Luiz. **A Empresa Ética em Ambiente Ecoeconômico: a contribuição da empresa e da tecnologia da automação para um desenvolvimento sustentável inclusivo**. São Paulo: Quartier Latin do Brasil, 2014.

APÊNDICE A – APLICAÇÃO DE CADEIAS DE MARKOV ATRAVÉS DO GOOGLE PLANILHAS PARA OBTENÇÃO DE VETOR DE PROBABILIDADE

O procedimento abaixo é um passo a passo para obtenção do vetor de probabilidade, utilizando planilha eletrônica (Excel) para resolução do problema descrito por GUAZZELLI, 1993. O problema encontra-se no capítulo 2, seção 2.1.2 que descreve os registros históricos de conformidades e não conformidades relativas ao padrão de concentração de mercúrio em águas superficiais em uma determinada estação de monitoramento bimestral

1. Construir a matriz de transição e o vetor inicial de probabilidade.

Figura 1 - Construção da matriz de transição e do vetor inicial de probabilidade na planilha eletrônica

The screenshot shows a Google Sheets interface with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1					Vetor de probabilidade				
2	Matriz de transição				t	pA	pB		
3		A	B		1	0,4	0,6		
4	A	0,29	0,71						
5	B	0,5	0,5						
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									

Fonte: Autora, 2024

Observa-se que foi dado um valor ao vetor inicial de acordo com a quantidade de conformidades e não conformidades bimestrais descritas por Guazzelli, 1993.

2. Multiplicação do vetor pela matriz de transição:
 - a) No tempo $t=2$, na célula F4, inserir a fórmula: vetor inicial de $p(A) = 0,4$ multiplicado pela transição de A para A = 0,29 mais $p(B) = 0,6$ multiplicado

pela transição B para A = 0,5

- b) No tempo $t=2$, na célula G4, inserir a fórmula: vetor inicial de $p(A) = 0,4$ multiplicado pela transição de A para B = 0,71 mais $p(B) = 0,6$ multiplicado pela transição B para B = 0,5

Os resultados são mostrados na Figura 2:

Figura 2 - Primeiros vetores de probabilidade

The screenshot shows a Google Sheets interface with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1						Vetor de probabilidade			
2	Matriz de transição				t	pA	pB		
3		A	B		1	0,4	0,6		
4	A	0,29	0,71		2	0,416	0,584		
5	B	0,5	0,5		3				
6					4				
7					5				
8					6				
9					7				
10					8				
11					9				
12					10				
13									
14									
15									

The formula bar for cell F4 displays: $=F3*B4+G3*B5$

Fonte: Autora, 2024.

3. Repetir o processo multiplicando o vetor obtido no passo 2 pela matriz de transição.
4. Para determinar a distribuição de probabilidade de longo prazo t , repetir os passos anteriores.

A Figura 3 mostra o resultados para dez iterações.

Figura 3 - Obtenção do vetor de probabilidade utilizando planilha eletrônica - Google planilhas.

The screenshot shows a Google Sheets interface with a spreadsheet titled 'TCC-Jessica Vilar'. The spreadsheet contains a transition matrix and a calculated probability vector.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1					Vetor de probabilidade				
2	Matriz de transição				t	pA	pB		
3		A	B		1	0,4	0,6		
4	A	0,29	0,71		2	0,416	0,584		
5	B	0,5	0,5		3	0,41264	0,58736		
6					4	0,4133456	0,5866544		
7					5	0,413197424	0,586802576		
8					6	0,413228541	0,586771459		
9					7	0,4132220064	0,5867779936		
10					8	0,4132233787	0,5867766213		
11					9	0,4132230905	0,5867769095		
12					10	0,413223151	0,586776849		
13									
14									
15									
16									
17									

Fonte: Autora, 2024.

Em 10 iterações, podemos notar que as probabilidades de estabilizam, onde a probabilidade de estar conforme $p(A) = 40\%$ e não conforme $p(B) = 60\%$, que é um resultado em concordância com Guazzelli, 1993.

**APÊNDICE B – TRABALHOS SELECIONADOS PARA REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA.**

Tabela 1 – Trabalhos selecionados para a Revisão Bibliográfica. A sigla TD refere-se a tipo de documento cujas respostas podem ser: **A**: Artigo, **M**=dissertação de Mestrado, **D**=tese de doutorado, **B**=trabalho de conclusão de curso de graduação. Na 2ª coluna ID significa o identificador (etiqueta) do trabalho.

Informações bibliográficas (ABNT)	ID TD
JÚNIOR, Luz et al. Modelo de análise da lucratividade baseado em métricas de confiabilidade de três fábricas de uma multinacional do ramo de pneumáticos utilizando a Cadeia de Markov. 2023. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ. 2023.	T01 M
MOTA, Maria Rita Rocha et al. Teoria das filas e Cadeias De Markov aplicadas em um tribunal de justiça: do mapeamento de processos à identificação de gargalos. XLIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza (Ceará). 2023	T02 A
FRANCO, Mateus Muller et al. O uso de cadeias de markov na análise de falhas e custos de não-qualidade em um componente da indústria automotiva. 2011. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte (Minas Gerais). 2011.	T03 A
DEBOM, Henrique; CHIWIACOWSKY, Leonardo Dagnino. Aplicação da cadeia de Markov no estudo da transição de produtos extrudados em uma empresa do ramo plástico. XLIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza (Ceará). 2011.	T04 A
PINTO, Thiago Moreira. Estimativa de parâmetros aplicados em modelos epidemiológicos. Orientador: Diego Cardoso Estumano. 2022. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2022. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/15102 . Acesso em: 23 set. 2024.	T05 M
CARDOSO, Altair Costa. Aplicação de técnicas bayesianas no processo debiolixiviação de urânio. Orientador: Bruno Marques Viegas; Coorientador: Diego Cardoso Estumano. 2022. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará (Belém), 2022. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/15316 . Acesso em: 23 set. 2024.	T06 M
TRISKA, Yuri. Proposição de método baseado em simulação para avaliação de capacidade e planejamento de expansão portuária. Orientador: Enzo Morosini Frazzon Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina (Florianópolis). 2020.	T07 M

TEIXEIRA, Luiz Frederico Horácio de Souza et al. Análise dos testes de aderência em tábuas atuariais: uma contribuição para o Sistema de Proteção Social dos militares das Forças Armadas. Orientador: Carlos Francisco Simões. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal Fluminense (Niterói, RJ). 2020. Disponível em: https://www.repositorio.mar.mil.br/handle/ripcmb/844633 . Acesso em: 23 set 2024.	T08 A
JACULI, Marcelo A. et al. Operational safety risk assessment in offshore oil wells. In: International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. American Society of Mechanical Engineers, 2019. p. V008T11A049.	T09 A
SIMÃO, Marina Leivas et al. Extreme value estimation of mooring lines top tension. In: International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. American Society of Mechanical Engineers, 2019. p. V003T02A069.	T10 A
SOUZA, Larissa Ane Hora de et al. Implantação de processo BPM-Business Process Management em uma empresa prestadora de serviços. Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Alagoas (Delmiro Gouveia). 2019.	T11 G
AFFONSO, Tássia Bolotari et al. Abordagem heurística do método bootstrapping para a previsão de demanda de itens sobressalentes: aplicação na indústria mineral. Orientador: Samuel Vieira Conceição. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal De Minas Gerais (Belo Horizonte). 2019.	T12 M
PASOLINI, Mônica et al. Análise das variações do produto interno bruto por meio da aplicação de cadeias de Markov. Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Santos, SP), 2019.	T13 A
BOLSON, Marcelo Henrique et al. Aplicação de cadeias de Markov para análise de variação do dólar americano. Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Santos, SP). 2019.	T14 A
SANTOS, Ewerton Andrade dos, et al. Análise da evasão de discentes do curso de engenharia de produção de uma instituição de ensino superior utilizando a Cadeia de Markov. Scielo Brasil (São Paulo). 2019.	T15 A
COLOMBO, Danilo. Proposição de um modelo Markoviano de apoio ao gerenciamento de riscos à integridade de poços submarinos. Orientador: Gilson Brito Alves Lima. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) – Universidade Federal Fluminense (Niterói) 2018.	T16 M
PASOLINI, Mônica et al. Aplicando cadeias de markov para análise de preços de commodities: estudo de caso no minério de ferro. XXXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção (Maceió), 2018.	T17 A
NASCIMENTO, Lucas et al. Modelo de previsão da classificação do campeonato brasileiro 2017 utilizando simulação monte carlo via cadeias de Markov. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2018.	T18 A

Disponível em: 10.14488/enegep2018_tn_sto_263_511_35968. Acesso em: 23 set. 2024.	
CHAGAS, Daniela Lopes. Planejamento da cadeia de suprimento na indústria de petróleo: uma nova abordagem utilizando o processo de Decisão de Markov . 2017. Tese (Doutor em Engenharia de Produção), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2017.	T19 M
MUAUALO, Miranda Albino Martins. Uma análise usando teoria de filas do problema de carregamento de pedidos no porto para abastecimento de unidades marítimas de exploração e produção de petróleo . Tese (Doutor em Engenharia de Produção), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2017.	T20 D
DE LIMA RODRIGUES, Rafael Denis et al. Estudo de previsão da demanda através da Cadeia de Markov : Proposta de aplicação em uma empresa de papel e celulose. Revista Espacios. V. 18, n. 02, p.3, 2017.	T21 A
COSTA, Daiane de Oliveira. Decisões de políticas de manutenção com buffer e inspeção de qualidade para um sistema de produção tipo fila . 2017. Orientador: Rodrigo Sampaio Lopes. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco. 2017.	T22 M
AÑON, Iago Cambre. Aplicações de pesquisa operacional no futebol= Applications of operations research in football . 2017. Orientador: Cristiano Torezzan. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, 2017.	T23 D
DE LIMA, Gabriel Herminio. Modelo de análise e predição de estados futuros de inovação e gestão das micro e pequenas empresas utilizando cadeias de Markov . Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2017.	T24 A
MILNITZ, Diego; LUNA, Mônica Maria Mendes; COELHO, Antônio Sérgio. Cálculo e análise da capacidade Produtiva utilizando processo de Markov : Estudo de caso de uma empresa têxtil. Exacta, v. 14, n. 1, p. 127-138, 2016.	T25 A
SOARES, Matheus dos Santos. Aplicação de um modelo de teoria das filas em um restaurante universitário: estudo do tempo de atendimento – Universidade Federal da Grande Dourados. (Mato Grosso do Sul), 2016.	T26 G
SILVA, Karen Michella Ribeiro da et al. Modelo baseado na cadeia de Markov para estimar o comportamento futuro dos fatores potencializadores da evasão escolar . 2016. Orientadora: Ocilde Custódio da Silva. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Amazonas (Manaus), 2016.	T27 M
BESSEGATO, Lupércio França; DOS REIS PEREIRA, Augusto; DA COSTA QUININO, Roberto. Planejamento de controle on-line por atributo, em presença de erros de classificação : uma abordagem semi-econômica. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2016.	T28 A
PASOLINI, Monica et al. Aplicação das cadeias de Markov para analisar a variabilidade do preço da commodity leite . XXXVI Encontro Nacional de	T29 A

Engenharia de Produção (João Pessoa). 2016.	
PASQUAL, Ana Lucia Kuhn et al. Aplicação de Cadeias de Markov para determinação de probabilidades de estados climáticos na cidade de Caxias do Sul. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (João Pessoa). 2016.	T30 A
DE OLIVEIRA, Abdinardo Moreira Barreto; EMÍDIO, Tayllen Francieli Dias. Persistência na variância e quebras estruturais nas séries de preços das frutas no mercado produtor de Juazeiro (BA). Revista Produção Online, v. 17, n. 4, p. 1435-1453, 2017.	T31 A
CAVALCANTE, Danilo Gonçalves. Modelo para previsão de itens sobressalentes baseado em confiabilidade industrial: estudo desenvolvido em uma do setor petrolífero. 2015. Orientador: Luciano Ferreira. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Natal). 2015.	T32 A
MATHIAS, Rafael Vieira et al. Avaliação do comportamento de filas sobre internações através do método Markoviano: estudo de caso em hospital do sul de Santa Catarina. XXXV Encontro Nacional De Engenharia De Produção (Fortaleza). 2015.	T33 A
TEIXEIRA, Carla Simone de Lima; MEDEIROS, Pledson Guedes de; HO, Linda Lee. Controle on-line da taxa média de defeitos por item produzido numa produção finita. Scielo Brasil. Production, v. 24, p. 94-103, 2014.	T34 A
DE OLIVEIRA, Marcelo Maia F.; BAHIANSE, Laura S.FERREIRA FILHO, Virgílio JM. Otimização de cadeia de suprimentos de petróleo sob incerteza e avaliação de risco. XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (Rio de Janeiro), 2014.	T35 A
MARTINS, Marcelo Edmundo Alves. Utilização De Métodos Bayesianos Na Avaliação Do Desempenho De Equipes De Colheita: Uma Aplicação No Setor De Citricultura Do Estado De São Paulo. Orientador: Jorge Alberto Achcar. Centro Universitário de Araraquara (Mestrado profissional em Engenharia de Produção), 2014.	T36 M
LEONI, Roberto Campos; COSTA, Antônio Fernando Branco; MACHADO, Marcela Aparecida Guerreiro. O efeito da autocorrelação no planejamento das cartas de controle de $\bar{x}$ e EWMA. Gestão & Produção, v. 20, p. 98-110, 2013.	T37 A
LEONI, Roberto Campos et al. Projeto estatístico do gráfico de controle de X barra com tamanho da amostra e intervalos variáveis. XXXIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção. 2013.	T38 A
HO, Linda Lee; COSTA, Antonio Fernando Branco. Monitoramento da média de processos que oscila através de um gráfico de controle np. Scielo Brasil. Production, v. 21, p. 254-258, 2011.	T39 A

STAUDT, Francielly Hedler; COELHO, Antonio Sérgio; GONÇALVES, Mirian Buss. Determinação da capacidade real necessária de um processo produtivo utilizando cadeia de Markov. Production, v. 21, p. 634-644, 2011.	T40 A
DA SILVA SALES, Marcus Vinicius; MORALES, Gudelia. Aplicações do processo de quase-nascimento-e-morte em sistemas de produção. 2011.	T41 A
KORZENOWSKI, Andre Luis; CATEN, Carla Schwengber ten. Mudança de regime Markoviano aplicado à fase I do controle estatístico de processo. Produto & Produção. V. 15 n.1, p. 01-09. 2011.	T42 A
FRANCO, Bruno Chaves et al. Planejamento econômico dos gráficos de controle de $\bar{X}$ para o monitoramento de processos autocorrelacionados. XXXIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção (Belo Horizonte). 2011.	T43 A
QUININO, Roberto C.; HO, Linda Lee. Efeitos dos ajustes preventivos e corretivos em projetos econômicos para controle de processos on-line para atributos com erros de classificação. Engineering Optimization, v. 42, n. 1, p. 17-31, 2010.	T44 A
ROCHA, André Luiz Sena da. Controle on-line por atributos para o número de não-conformidades no item inspecionado com base em uma sequência de inspeção. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2010.	T45 M
TEIXEIRA, Carla Simone de Lima. Controle on-line do número de não-conformidades por itens em uma produção finita. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.	T46 M
DA SILVA, Gerson Luis Caetano. Modelo de estoque para peças de reposição sujeitas à demanda intermitente e lead time estocástico. Orientador: Samuel Vieira Conceição. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.	T47 M
FIGUEIREDO, Fernanda Alves. Modelo para o apoio à decisão multicritério para o planejamento da manutenção preventiva no setor elétrico. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Pernambuco (Recife), 2009.	T48 G
FIRMINO, Paulo Renato Alves. Método adaptativo de Markov Chain Monte Carlo para manipulação de modelos Bayesianos. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). – Universidade Federal de Pernambuco (Recife), 2009.	T49 D
GOMES, Antonio Vinicius Pimpão; WANKE, Peter. Modelagem da gestão de estoques de peças de reposição através de cadeias de Markov. Gestão & Produção, v. 15, p. 57-72, 2008.	T50 A
TRINDADE, Anderson Laécio Galindo. Contribuições para o controle on-line de processos por atributos. Orientadora: Linda Lee Ho. 2008. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo. 2008.	T51 D
DA SILVA, Marcelo Silva et al. Uma estratégia de avaliação de desempenho	T52

baseada em statecharts e processo Markoviano de decisão. XXXIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção (Rio de Janeiro). 2008.	A
SAMANEZ, Carlos Patrício; DOS SANTOS, Robson Cabral. Análise e avaliação do equity premium puzzle no mercado acionário brasileiro sob diferentes contextos econômicos. Revista Brasileira de Economia de Empresas , v. 7, n. 2, 2007.	T52 M
BELFIORE, Patrícia Prado; DO VALLE COSTA, Oswaldo Luiz; FÁVERO, Luiz Paulo Lopes. Problema de estoque e roteirização: um modelo com demanda determinística e estocástica. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (Gramado). 2005.	T53 A
ORLANDELI, Rogério. Um modelo Markoviano-Bayesiano de inteligência artificial para avaliação dinâmica do aprendizado: aplicação à logística. 2005. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção.	T54 D
SALLES, André. Evidências adicionais sobre a sazonalidade dos retornos diários do mercado de ações brasileiro. Revista Produção Online, v. 5, n. 4, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.14488/1676-1901.v5i4.377 . Acesso em: 23 set. 2024.	T55 A
DROGUETT, E. L. et al. Análise comparativa da disponibilidade de duas malhas de completção inteligente em poços de petróleo. ENEGEP, Porto Alegre, RS, BR, v. 29, 2005.	T56 A
MOURA, Márcio José das Chagas; DROGUETT, Enrique Lopéz. Inferência Bayesiana para estimação da taxa de falha de bombas de um sistema de resfriamento de uma usina nuclear. Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Porto Alegre). 2005.	T57 A
FIRMINO, Paulo Renato Alves; DROGUETT, Enrique López. Análise de confiabilidade populacional pelo hibridismo entre redes Bayesianas e bootstrap paramétrico. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (Gramado). 2005.	T58 D
DE SOUZA LANZER, André Thiago. Um Modelo de Simulação de Autômatos Celulares para Avaliação de Condições de Biodiversidade e Resiliência na Exploração de Florestas Naturais. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.	T59 D
SILVA, Alessandra Rodrigues da. Análise da disponibilidade de malhas de completção inteligente em poços de petróleo. 2004. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco.	T60 A
ASSUNÇÃO, Cibele Noronha Behrens; LOPES, Hedibert Freitas; GAMERMAN, Dani. Análise Bayesiana de eventos extremos com estimação do limiar. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (Natal) 2003.	T61 A
DUARTE, Sílvia dos Reis Alcântara; MIGON, Hélio S.; FUKS, Saul. Estudo de	T62

simulação para um modelo de fronteira de produção estocástica com erro nas variáveis explicativas: enfoque bayesiano. XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (São João Del Rei). 2004.	A
FAGUNDES, Liliane Dolores; ALMEIDA, DA de; LEAL, Fabiano. Metodologia de gestão de falhas para empresas do setor elétrico. Anais do ENEGEP-Encontro Nacional de Engenharia de Produção , v. 24, n. 2000, p. 620-627, 2004.	T63 A
DA CUNHA ALVES, Custodio; SAMOBYL, Robert Wayne. A utilização dos gráficos de controle CUSUM para o monitoramento de processos industriais. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Florianópolis). 2004.	T64 A
SELLITTO, Miguel Afonso. Avaliação dos resultados de esforços de melhoria contínua em processos aleatórios. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Florianópolis). 2004.	T65 A
MEDEIROS, Pledson Guedes de; HO, Linda Lee. Controle de processo para variáveis em tempo real (on-line) via cadeia de Markov: uma abordagem econômica. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Florianópolis). 2004.	T66 A
DE ARAÚJO, Rubens Oliveira. Avaliação de Opções reais através do método dos mínimos quadrados de Monte Carlo. 2004. Orientadora: Tara Keshar Nanda Baidya. Tese (Mestrado em Engenharia industrial) – PUC-Rio. 2004.	T67 A
SALLES, André Assis de. Sazonalidade de retornos diários de ativos financeiros: um exame preliminar de anomalias no mercado de ações brasileiro. XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (Natal). 2004.	T68 A
JARDIM, R. X.; CONCEIÇÃO, S. V.; CARVALHO, C. R. V. Localização estratégica para o serviço de atendimento móvel de urgência na região metropolitana de Belo Horizonte. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Florianópolis, SC, Brasil, p. 3-5, 2004..	T69 A
MIRANDA, Marcelo Accorsi; BRICK, Eduardo Siqueira. Análise de custo de vida útil de sistemas de geração de energia em plataformas de produção de petróleo. 2004. XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (Natal). 2004.	T70 A
NARDINI, Jurandir Jones; PIRES, Silvio R. I. Sistemas de Gestão da Produção: Estudo em 20 Empresas do Setor Metal-mecânico Paulista. Orientador: Sílvia R. I. Pires. 1999. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas. 1999. Disponível em: https://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/175907 . Acesso em: 23 set. 2024.	T71 A
MINGOTI, Sueli Aparecida; CARVALHO, Júlia Pinto de. A cadeia de Markov no monitoramento, via inspeção por atributos, de processos autocorrelacionados: o programa SCAP- módulo AI. 2003.	T72 A
SALLES, André Assis. Um modelo Garsh e a correlação implícita: associação dos retornos do Ibovespa com outros índices Americanos. XXII Encontro	T73 A

Nacional de Engenharia de Produção (Curitiba). 2002.	
MICHEL, Renato. Cartas adaptativas de controle: desenvolvimento de metodologia para implementação em processos de manufatura. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001.	T74 M
SACOMANO, José B.; AZZOLINI JR, W. Uma análise da evolução histórica da estrutura funcional do planejamento e controle da produção. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, v. 21, 2001.	T75 A
TURNES, OSIRIS; IMAÑA, Christian Rainier. Planejamento econômico para dois tipos de processos utilizando gráficos X e R. Associação Brasileira de Engenharia de Produção. 2001.	T76 A
DA SILVA, Rodolfo Romualdo; MATTOS, Néli Marias Costa. Análise Bayesiana da confiabilidade de itens submetidos a testes de degradação. Associação Brasileira de Engenharia de Produção. 2001.	T77 A
MORABITO, Reinaldo; DE LIMA, Flavio CR. Um modelo para analisar o problema de filas em caixas de supermercados: um estudo de caso. Pesquisa Operacional, v. 20, p. 59-71, 2000.	T78 A
EPPRECHT, Eugenio Kahn; COSTA, Antonio Fernando Branco; MENDES, Flávia Cesar Teixeira. Gráficos adaptativos de controle por atributos e seu projeto na prática. Pesquisa Operacional, v. 25, p. 113-134, 2005.	T79 A
VIJAYKUMAR, N. L.; CARVALHO, S. V.; ABDURAHIMAN, V. Specifying Manufacturing Cell with Robots and obtaining performance measurements: an approach in Statecharts and Petri nets. Proceedings of VI International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, São Paulo. 2000. p. 349-355.	T80 A
FERREIRA, Maria Emília Martins. Modelos log-normal e markoviano para estudo da evolução de abundância em uma floresta de babaçu. 1999. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina.	T81 M
TURNES, Osiris; DE SOUZA, Natália Ribeiro. Agrupamento dos modelos de planejamento econômico para gráficos de controle-x. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 1999.	T82 A
TURNES, Osiris; SLEEGERS, Lúneker Clementino. Sistema para seleção de modelos de planejamento econômicos de gráficos de controle por atributos com restrições estatísticas. Associação Brasileira de Engenharia de Produção. 1999.	T83 A
MENDONÇA, Fernando César; MORABITO, Reinaldo. Aplicação do modelo hipercubo para análise de um sistema médico-emergencial em rodovia. Gestão & Produção, v. 7, p. 73-91, 2000.	T84 A

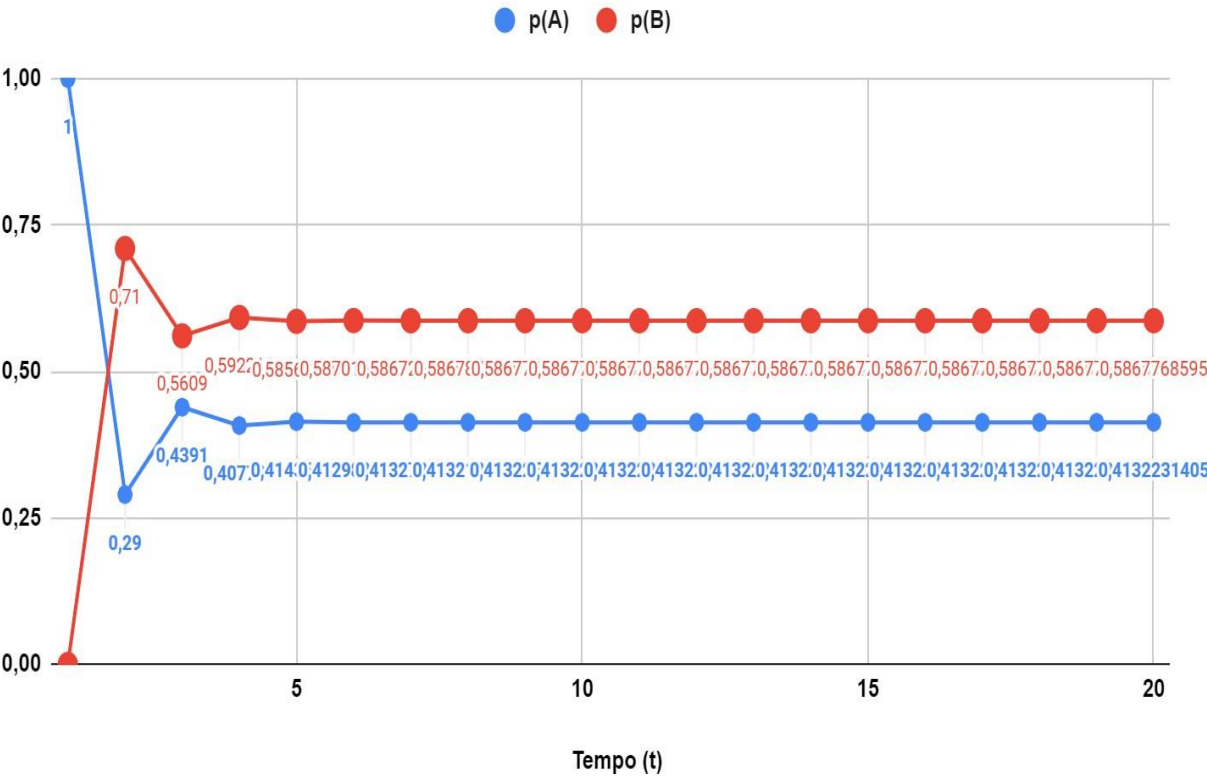
MIYAGI, M. M. et al. Simulação discreta e redes de Petri para análise de sistemas de saúde. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, v. 28, 1998.	T85 A
DA SERRA COSTA, José Fabiano; DE MELO, Albert C. Geber; PESSANHA, José Francisco M. Avaliação da confiabilidade de sistemas multi-área através da integração dos modos de falha via simulação Monte Carlo. Associação Brasileira de Engenharia de Produção. 1998.	T86 A
COSTA, João Cândido Bracarense, et al. Formação artificial de um rebanho bovino. Associação Brasileira de Engenharia de Produção. 1998.	T87 A
FONTANELLA, Giseli Castro; MORABITO, Reinaldo. Análise do tradeoff entre investir em canais de atendimento e satisfazer o nível de serviço em provedores de internet. Scielo Brasil. 1997.	T88 A
NORIEGA, Héctor C.; MELO, P. F. Frutuoso e. Um modelo de manutenção baseado em processos pontuais não-estacionários para sistemas com vários componentes. Associação Brasileira de Engenharia de Produção. 1997.	T89 A
NETO, José Binfaré et al. Modelo estocástico de decisão na comercialização de produtos agrícolas: o caso da soja. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. 1997.	T90 A
BESSEGATO, Lupércio França et al. Tempo esperado para a detecção de uma causa especial que desloca a média do processo de seu valor-alvo. Revista Produção e Engenharia, Minas Gerais, V.6, n.1, p. 564-574, Jan./ Jun. 2014. Disponível em: https://periodicos.ufjf.br/index.php/producaoengenaria/article/view/28797 . Acesso em: 23 set. 2024.	T91 A
HO, Linda Lee; DE MEDEIROS, Pledson Guedes; BORGES, Wagner. An alternative model for on-line quality monitoring for variables. International Journal of production economics, v. 107, n. 1, p. 202-222, 2007.	T92 A
DA SILVA, Marcelino Silva et al. Uma estratégia de avaliação de desempenho baseada em statecharts e processo Markoviano de decisão. XXVIII Encontro nacional de Engenharia de Produção (Rio de Janeiro). 2008.	T93 A
COSTA, Wilder Francisco Soares et al. Aplicação do processo estocástico no controle de estoque em pequenas empresas. Orientador: Fabrício Oliveira. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – PUC/ Rio. 2014.	T94 G
MIRANDA, Marcelo Accorsi; BRICK, E. S. Análise de custo de vida útil de sistemas, aplicado a plataformas de petróleo. XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), Natal, RN, Brasil, 2003.	T95 A

APÊNDICE C - CONDIÇÃO DE ESTADO ESTACIONÁRIO: INDEPENDÊNCIA DO VETOR INICIAL.

Neste apêndice, apresento a condição de estado estacionário na simulação das probabilidades de conformidade e não conformidade. Independentemente do vetor de probabilidades inicial, o sistema converge para uma distribuição estável após várias iterações. Isso ilustra que, mesmo com mudanças iniciais, as probabilidades eventualmente se estabilizam, demonstrando a independência do estado estacionário em relação às condições iniciais, conforme mostra a Figura C1 e a Figura C2.

Figura C1 - Comportamento ao longo do tempo com probabilidades iniciais $p(A) = 1,00$ e $p(B)=0,00$

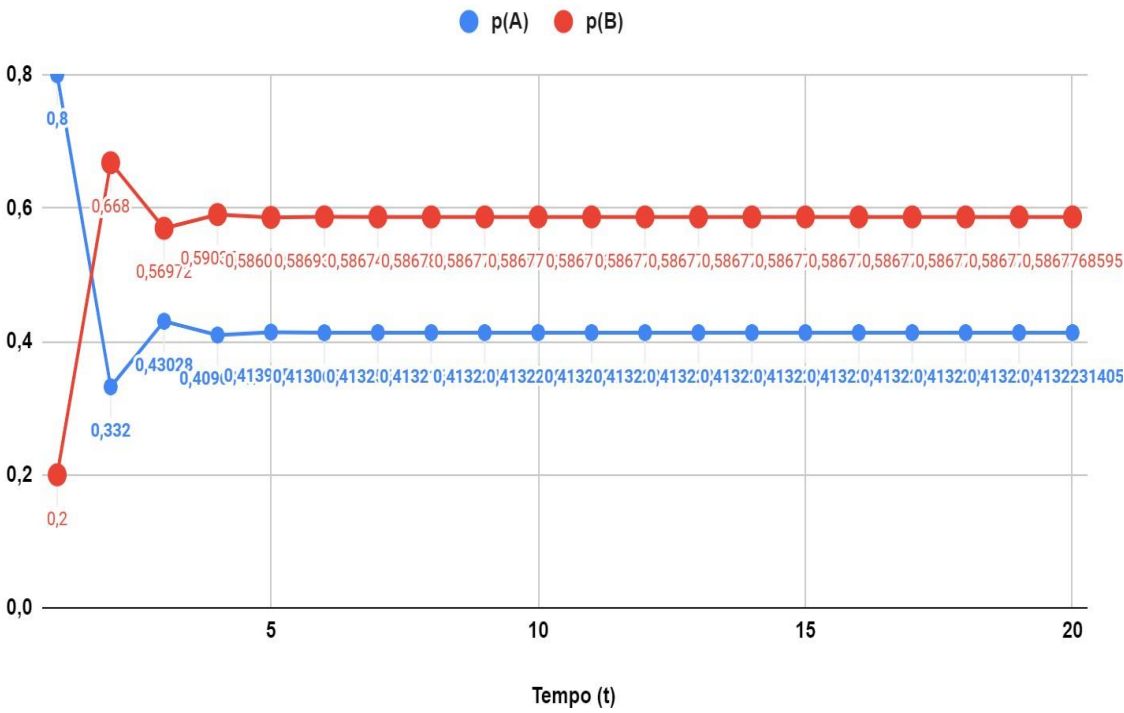
p(A) e p(B)



Fonte: Autora, 2024.

Figura C2 - Comportamento ao longo do tempo com probabilidades iniciais $p(A) = 0,8$ e $p(B) = 0,2$.

p(A) e p(B)



Fonte: Autora, 2024.