

Simulação computacional para análise da capacidade produtiva de uma indústria de acessórios poliméricos para rede elétrica

COMPUTER SIMULATION FOR PRODUCTION CAPACITY ANALYSIS OF A POLYMER ACCESSORIES INDUSTRY FOR POWER GRIDS

Ana Paula Kozechen¹, Márcia de Fátima Morais², Ruby Vieira de Mello Campos³, Rony Peterson da Rocha⁴

Autor para correspondência:

Ana Paula Kozechen

Rua Dom Jaime Luiz Coelho, 595,
Jardim Lar Paraná, Campo Mourão-
PR, CEP 87305-078, Telefone
(44)999601864

E-mail:

anapaulakozechen@gmail.com

Declaração de Interesses: Os autores certificam que não têm nenhum interesse comercial ou associativo que represente um conflito de interesses em conexão com o manuscrito.

Contribuição dos Autores:

1, 2, 3, 4 Conceituação

1 Coleta de Dados

1, 2 Análises

1, 2, 3, 4 Redação e Edição

Em mercados altamente competitivos, as companhias buscam constantemente aprimorar suas capacidades produtivas para atender às exigências de qualidade e quantidade dos consumidores. A análise da capacidade de um processo é essencial para verificar se este atende às demandas do mercado. A simulação computacional se mostra uma ferramenta eficaz para essa análise, ao permitir a avaliação de decisões sem a necessidade de intervenções no sistema real. Este estudo teve como objetivo analisar a capacidade produtiva do processo de fabricação de grampos de ancoragem em uma indústria de acessórios poliméricos para redes elétricas no Paraná, por meio do Software Arena® versão Student. Para identificar qual a capacidade produtiva da linha de produção do grampo de ancoragem, qual etapa do processo constitui o gargalo da linha de produção do grampo de ancoragem e determinar quais alterações na configuração da linha de produção do grampo de ancoragem podem gerar aumento na produtividade, foram elaborados dois modelos computacionais, cujos resultados foram avaliados com base na capacidade produtiva, na taxa de ocupação dos colaboradores e na utilização dos recursos. Os resultados da simulação mostraram que, dependendo da configuração da equipe na linha de produção, a produção diária pode variar entre 2.396 e 2.542 unidades. Os resultados permitiram identificar gargalos, especialmente nas etapas de encaixe, e demonstraram que a redistribuição de tarefas e a alocação de novos colaboradores — incluindo funcionários polivalentes na linha — podem aumentar a produtividade. A comparação entre os dois modelos revelou que a adição de um colaborador na etapa crítica resultou em maior equilíbrio no uso dos recursos e aumento da capacidade produtiva. As alterações propostas também apontam para potenciais ganhos financeiros diários e anuais, reforçando a importância da simulação como ferramenta estratégica. Conclui-se que a modelagem computacional fornece insights relevantes para a tomada de decisão, permitindo não apenas otimizações imediatas, mas também o planejamento de cenários futuros.

Palavras-chave: Modelagem computacional. Otimização de produção. Análise de processos. Indústria polimérica.

In highly competitive markets, companies constantly seek to improve their production capabilities to meet consumers' quality and quantity requirements. Process capacity analysis is essential to verify whether production meets market demands. Computer simulation proves to be an effective tool for this analysis, as it allows decision-making evaluation without the need for real-system interventions. This study aimed to analyze the production capacity of the anchoring clamp manufacturing process in a polymer accessories industry for power grids located in Paraná, Brazil, using the Arena® Student

¹ Universidade Estadual do Paraná/Campus de Campo Mourão, Paraná, Brasil. orcid.org/0009-0006-0901-8604

² Universidade Estadual do Paraná/Campus de Campo Mourão, Paraná, Brasil. orcid.org/0009-0007-2278-5565

³ Universidade Estadual do Paraná/Campus de Campo Mourão, Paraná, Brasil. orcid.org/0000-0003-3156-3781

⁴ Universidade Estadual do Paraná/Campus de Campo Mourão, Paraná, Brasil. orcid.org/0000-0001-6682-8407

Version. To identify the production capacity of the anchoring clamp manufacturing line, which process step constitutes the bottleneck of the anchor clamp production line and determine which changes in the configuration of the anchor clamp production line can generate an increase in productivity, two computational models were developed, and their results were evaluated based on production capacity, employee utilization rate, and resource usage. The simulation results showed that, depending on the team configuration on the production line, daily production can vary between 2,396 and 2,542 units. The results made it possible to identify bottlenecks, especially in the fitting stages, and showed that task redistribution and the allocation of new employees — including multi-skilled workers on the line — can increase productivity. The comparison between the two models revealed that the addition of one worker to the critical stage resulted in better resource balance and increased production capacity. The proposed changes also point to potential daily and annual financial gains, reinforcing the importance of simulation as a strategic tool. It is concluded that computational modeling provides valuable insights for decision-making, enabling not only immediate optimizations but also the planning of future scenarios.

Keywords: Computer modeling. Production optimization. Process analysis. Polymer industry.

INTRODUÇÃO

A eficiência e a eficácia dos processos produtivos são essenciais para a competitividade industrial. Conhecer a capacidade produtiva de seus processos é crucial para atender a demanda com precisão, evitando uso excessivo de recursos (Astin *et al.*, 2019; Hiller *et al.*, 2019). De acordo com Moreira (1998), a capacidade produtiva representa o volume máximo que um sistema pode alcançar, considerando suas restrições. Otimizar essa capacidade contribui para o aumento da produtividade e da rentabilidade (Dimitrova; Panayotova; Veleva, 2021).

A análise da capacidade produtiva permite identificar gargalos, otimizar o uso de recursos e planejar a produção de forma eficiente (Guangwei *et al.*, 2023). Dificuldades no controle e na alocação da mão de obra têm levado as empresas a buscar técnicas alternativas de análise, capazes de prever o comportamento do sistema e oferecer melhores soluções (Ramachandran, 2013). Nesse contexto, a simulação destaca-se como uma ferramenta poderosa, pois possibilita a avaliação de diferentes cenários e o estudo da alocação de recursos humanos (Juan Pérez *et al.*, 2010).

A simulação baseia-se na construção de um modelo computacional que permite visualizar e analisar o funcionamento de um sistema (Prado, 2019). Para Banks *et al.* (2005) afirmam que as simulações computacionais possibilitam testar alterações sem necessidade de mudanças no sistema real. Além disso, essa técnica permite identificar gargalos e analisar os processos produtivos visando ao aumento da capacidade.

A indústria de acessórios poliméricos para redes elétricas enfrenta desafios como a manutenção de altos padrões de qualidade e a necessidade de responder rapidamente às flutuações na demanda, mantendo custos competitivos. Entre os produtos fabricados por esse setor estão os isoladores poliméricos, conectores de cabos, acessórios de fixação, adaptadores e junções, mangueiras de proteção e anéis de isolamento (Wei *et al.*, 2022). Um exemplo relevante é o grampo de ancoragem, utilizado para fixar e sustentar cabos elétricos, garantindo a segurança das linhas, especialmente em ambientes sujeitos a tensões mecânicas elevadas.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo analisar, por meio de simulação computacional, a capacidade produtiva do processo de fabricação do grampo de

ancoragem em uma indústria localizada no município de Campo Mourão, Estado do Paraná, Brasil. Fundada em 2013, a empresa é de pequeno porte e conta com uma equipe fixa de seis colaboradores. Atualmente, seu portfólio é composto por seis produtos: espaçador losangular, isolador tipo pino, braço antibalanço e cobertura protetora para bucha (fixa e bipartida).

A análise da capacidade produtiva é fundamental para a expansão da carteira de clientes, uma vez que o mercado de acessórios poliméricos para redes elétricas está em crescimento. Assim, torna-se necessário alinhar a capacidade produtiva da empresa às novas oportunidades, evitando tanto a sobrecarga quanto a ociosidade de recursos. Por meio dessa análise, é possível avaliar o desempenho do sistema, simular diferentes cenários, identificar gargalos e propor melhorias no processo produtivo.

Dessa forma, este estudo, por meio da modelagem e simulação do processo de produção do grampo de ancoragem, utilizando o *software* Arena®, busca fornecer subsídios para a tomada de decisão quanto à ampliação da capacidade produtiva. Para tanto, foram formuladas as seguintes questões de pesquisa: i) Qual a capacidade produtiva da linha de produção do grampo de ancoragem?; ii) Qual etapa do processo constitui o gargalo da linha de produção do grampo de ancoragem?; e iii) Quais alterações na configuração da linha de produção do grampo de ancoragem podem gerar aumento na produtividade? Visando responder estas questões, foram elaborados dois modelos computacionais, cujos resultados foram avaliados com base na capacidade produtiva, na taxa de ocupação dos colaboradores e na utilização dos recursos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Capacidade produtiva

A capacidade produtiva refere-se ao volume máximo de produção que uma empresa pode alcançar, considerando restrições específicas. Schulman, Blake e Donald (2023) e Guangwei *et al.* (2023) destacam sua importância para o sucesso organizacional, ressaltando a necessidade de estratégias eficazes de planejamento e gestão para otimização dessa capacidade. Dimitrova, Panayotova e Veleva (2021) enfatizam que a capacidade produtiva é fundamental para a competitividade industrial.

Dima (2013) define a capacidade produtiva como a produção máxima ao longo do tempo com uso eficiente dos fatores de produção. Gupta e Starr (2014) a descrevem como o número de unidades produzidas em um turno regular por um número específico de trabalhadores. Soares (2015) aponta que a capacidade é influenciada por recursos humanos, operacionais e externos.

Corrêa e Corrêa (2010, p. 426) definem a capacidade como “o máximo de atividade de agregação de valor que uma unidade produtiva pode atingir sob condições normais de operação”. Moreira (1998) a vê como o número máximo de produtos e serviços produzidos em determinado período. Stevenson (2001) complementa que é o limite máximo de carga que uma unidade operacional pode suportar. Slack, Chambers e Johnston (2009) destacam que a capacidade é o nível máximo de atividade de valor adicionado em determinado período sob condições normais de operação.

A inadequação da capacidade produtiva pode acarretar perdas de clientes, atrasos nas entregas e aumento da concorrência. Por outro lado, o excesso de capacidade pode resultar em custos adicionais devido à ociosidade, desperdício de produtos e subutilização da força de trabalho (Morais, 2022).

A avaliação da capacidade produtiva é essencial para estabelecer os limites competitivos da unidade, representando o volume máximo que pode ser atingido (Morais, 2022). Fatores internos que afetam a capacidade incluem projeto de produto, mão de obra, layout de planta, fluxo de processos, capacidades e manutenção de equipamentos. Fatores externos abrangem legislação, acordos sindicais e capacidades dos fornecedores (Davis, 2001). Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), o equilíbrio entre carga de trabalho e tempo disponível é um dos principais desafios da gestão da capacidade produtiva.

Organizações buscam novas ferramentas de gerenciamento para melhorar a produtividade e a qualidade de produtos e serviços (Kardec; Nascif, 2009). A análise da capacidade de produção permite conhecer os limites da unidade e alinhar a produção com a demanda, evitando estoques desnecessários (Morais, 2022).

Tecnologias e capacidades flexíveis aprimoram a gestão da produção, permitindo respostas rápidas às flutuações da demanda e melhorando a eficiência operacional (Winter; Luttkau; Lödding, 2021). Técnicas avançadas de modelagem auxiliam as empresas a alocar recursos estrategicamente e maximizar sua capacidade produtiva (Schulman; Blake; Donald, 2023).

Simulação de sistemas

Gerenciar a capacidade produtiva é essencial para otimizar recursos e atender à demanda do mercado. Determinar com precisão essa capacidade em sistemas complexos pode ser desafiador, tornando a simulação de sistemas uma ferramenta valiosa (Schelasin; Hayes; Parks, 1994). A simulação oferece uma visão detalhada e dinâmica dos processos, facilitando decisões estratégicas e melhorando o desempenho (Alquraish, 2022).

A simulação é amplamente utilizada para modelar e analisar o comportamento de sistemas complexos ao longo do tempo (Zheng *et al.*, 2022). Métodos de simulação, especialmente de eventos discretos, permitem estudar o desempenho de sistemas de produção e serviços, replicando características originais e analisando fatores que impactam o desempenho, como filas, redes de transporte e gargalos (Boualem *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2021; Duyun; Chuev, 2021; Nie *et al.*, 2022).

A simulação é útil onde experimentos reais são inviáveis devido a custos, tempo ou complexidade. Ela permite experimentar diferentes cenários sem interromper operações reais, melhorando a eficiência e a resposta às demandas do mercado (Schelasin; Hayes; Parks, 1994; Qarahasanlou *et al.*, 2021).

Tecnologias e capacidades flexíveis aprimoram a gestão da produção, permitindo respostas rápidas às flutuações da demanda (Winter; Luttkau; Lödding, 2021). Com técnicas avançadas de modelagem e simulação, empresas podem alocar recursos estrategicamente, tomar decisões informadas e maximizar a capacidade produtiva (Nie *et al.*, 2022).

Ferramentas de simulação, como Arena®, AnyLogic ou FlexSim, permitem explorar diversas configurações operacionais, incorporando elementos como máquinas,

trabalhadores e fluxos de trabalho. Isso facilita decisões informadas e melhora a eficiência do sistema (Monti; Corti; Pietraroia, 2020). Portanto, a simulação baseada em computador é uma plataforma analítica poderosa para avaliar barreiras e incertezas, medir o desempenho do sistema em vários cenários e tomar decisões estratégicas para maximizar a capacidade produtiva e alcançar lucratividade a longo prazo (Azarian; Yu; Solvang, 2021).

Simulação computacional

A simulação computacional constitui uma ferramenta fundamental para a análise de sistemas complexos em diversas disciplinas, como engenharia, física, biologia, economia e ciências sociais, conforme destacado por Silva (2017). Desde a década de 1970, seu uso tem se expandido significativamente, abrangendo áreas como gerenciamento de riscos, ciências sociais e sistemas de informação baseados em nuvem (Bossel, 2018; Abut, 2022).

No contexto dos sistemas de produção, essa abordagem tem se mostrado essencial para a análise e a otimização de processos. De acordo com Niewiadomska-Szynkiewicz e Malinowski (2020), bem como Klapita (2022) e Alquraish (2022), a simulação computacional possibilita uma compreensão detalhada do comportamento dos sistemas produtivos, favorecendo a tomada de decisões fundamentadas e eficientes.

Ao integrar técnicas como análise de sistemas, teoria dos jogos e inferência estatística, as organizações podem, segundo Levy e Steinberg (2010), identificar soluções otimizadas para seus processos, reduzir custos, ajustar cadeias logísticas e aumentar sua competitividade no mercado. Esse tipo de modelagem permite, ainda, antecipar cenários e propor estratégias com maior precisão e segurança.

Conforme indicam Souza (2008) e Amigo, Iritani e Rozenfeld (2012), o processo de simulação computacional compreende cinco etapas principais: (i) definição do problema e dos objetivos do estudo; (ii) construção do modelo representativo; (iii) implementação computacional da simulação; (iv) execução de experimentos sob diferentes condições operacionais; e (v) análise dos resultados obtidos. Essas etapas estruturam a metodologia e permitem uma aplicação mais rigorosa e eficaz da técnica.

Tais fases são fundamentais em aplicações que envolvem desde previsões moleculares até a modelagem de fenômenos sociais. No ambiente empresarial, a simulação computacional tem sido empregada para alocação estratégica de recursos e ampliação da capacidade produtiva, contribuindo diretamente para a eficiência operacional e a lucratividade em longo prazo.

Entretanto, conforme enfatizam Humphreys (1990), Levy e Steinberg (2010) e Abut (2022), a fidelidade da simulação depende da precisão na construção do modelo e da qualidade dos dados de entrada. Assim, a verificação e a validação do modelo tornam-se etapas críticas para assegurar resultados confiáveis e aplicáveis à realidade do sistema estudado.

Software Arena®

O Arena® é um software de simulação de processos industriais desenvolvido pela *Rockwell Software*, lançado em 1993, sendo amplamente utilizado na indústria. Ele combina lógica, animação e ferramentas de análise estatística para modelar sistemas

complexos (Wang *et al.*, 2023). De acordo com Prado (2019), o Arena® é valorizado por sua flexibilidade, permitindo a identificação de pontos críticos e a avaliação de diferentes estratégias de produção.

Segundo Morais (2013), a modelagem conceitual no Arena® descreve os elementos estatísticos e dinâmicos do sistema, sendo capaz de realizar o tratamento estatístico dos dados, fornecendo a melhor distribuição para o conjunto analisado. Durante a construção do modelo, o usuário define recursos e regras de comportamento. Na simulação, as entidades interagem conforme essas regras (Fioroni, 2008).

A linguagem de simulação utilizada pelo Arena® é o Siman V, que, segundo Morais (2013), é uma linguagem de modelagem versátil, aplicável a diferentes domínios, como manufatura, serviços, transporte e logística. Aguilar *et al.* (2009) ressaltam que o *software* dispõe de *templates* que simplificam a modelagem, permitindo a criação de modelos visuais e interativos, com menor necessidade de programação.

Os principais *templates* disponíveis no Arena® facilitam a criação e a personalização de modelos. De acordo com De Vreede, Verbraeck e Van Eijck (2003), há categorias como basic process *template*, utilizado para sequências básicas de atividades, e queue *template*, voltado para análise de filas e sistemas de espera. Ramos Neto e Pinto (2004) e Marrella e Lespérance (2017) complementam que os *templates* de recursos, como resource *template* e staffing *template*, auxiliam na alocação de máquinas, trabalhadores e definição de escalas de trabalho.

Além disso, os *templates* de entrada e saída permitem configurar e visualizar os dados do modelo. O input *template* define variáveis como taxas de chegada e intervalos, enquanto o output *template* auxilia na geração de relatórios e gráficos. Conforme Bowerbank (2011), os *templates* de decisão e lógica, como o logic *template*, estabelecem regras, algoritmos e respostas a eventos no sistema. Montecchi, Lollini e Bondavalli (2019), bem como Trebukhin, Filatova e Sidorov (2021), destacam que os *templates* de interação, como user interface *template* e animation *template*, permitem a criação de interfaces gráficas e visualização em tempo real do comportamento do sistema.

Essas funcionalidades tornam o Arena® uma ferramenta poderosa e adaptável às necessidades específicas de diversos setores, proporcionando maior eficiência e confiabilidade na modelagem de processos (Aguilar *et al.*, 2009).

O *Input Analyzer* é uma ferramenta fundamental do Arena® para a análise de dados estatísticos. Conforme Freitas Filho (2008), essa funcionalidade permite transformar dados brutos em distribuições teóricas de probabilidade, por meio de testes de aderência. Após a inserção dos dados coletados, o sistema compara os resultados com distribuições teóricas projetadas.

Kelton, Sadowski e Sturrock (2007) explicam que o *Input Analyzer* fornece a expressão matemática da distribuição ajustada e o erro associado, indicando o grau de aderência dos dados reais ao modelo teórico. O erro de ajuste representa a diferença entre os valores observados e esperados para cada intervalo do histograma, sendo crucial para validar a modelagem estatística.

Conforme Costa (2009), o *Input Analyzer* permite uma análise precisa de dados coletados durante a operação do sistema, possibilitando a escolha da distribuição estatística mais

adequada. Assim, contribui significativamente para a modelagem precisa e confiável dos processos simulados no Arena®.

Uma das características mais relevantes do *software* Arena® é a capacidade de gerar relatórios detalhados. Para Prado (2019), esses relatórios são essenciais para compreender o comportamento do sistema simulado, identificar gargalos e embasar decisões de melhoria. Segundo Wang *et al.* (2023) e Kolny, Kaczmar-Kolny e Dulina (2023), o *software* disponibiliza diversos tipos de relatórios, cada um com função específica na análise dos resultados.

O relatório de estatísticas da entidade apresenta dados sobre tempo médio de atendimento, tempo de espera e permanência no sistema. Já o relatório de utilização de recursos permite avaliar o uso de máquinas e operadores, sugerindo ajustes na alocação de recursos. O relatório de tempo de ciclo mede o tempo necessário para completar um processo, sendo útil para avaliar a adequação dos tempos operacionais (Arena Basic User's Guide, 2010; Kolny; Kaczmar-Kolny; Dulina, 2023).

Além desses, o relatório de fluxo de entidades descreve o percurso das entidades no sistema, facilitando a identificação de possíveis falhas. O relatório de custo operacional detalha os custos envolvidos na operação do sistema, sendo importante para a análise de viabilidade econômica das mudanças propostas (Kolny; Kaczmar-Kolny; Dulina, 2023).

Também é relevante o relatório de eficiência do sistema, que analisa os recursos utilizados, o tempo de processamento e os custos envolvidos. O relatório de resultados da simulação apresenta métricas estatísticas e comparações entre cenários. Já o relatório de análise de sensibilidade examina como variações nos parâmetros afetam o desempenho do sistema. Por fim, o relatório de animação ilustra graficamente o funcionamento do modelo, permitindo a visualização das dinâmicas envolvidas (Arena Basic User's Guide, 2010; Kolny; Kaczmar-Kolny; Dulina, 2023).

Esses relatórios constituem ferramentas indispensáveis para a avaliação da eficiência, custos e fluxos de processos simulados. Conforme destacam Kolny, Kaczmar-Kolny e Dulina (2023), a robustez desses relatórios consolida o Arena® como uma ferramenta essencial para profissionais e pesquisadores que atuam na análise e otimização de sistemas complexos.

METODOLOGIA

Este estudo analisa a capacidade produtiva de uma empresa especializada em acessórios poliméricos para redes elétricas, por meio da técnica de simulação de sistemas. A abordagem metodológica adotada é mista, combinando métodos qualitativo e quantitativo, a fim de proporcionar uma visão abrangente do fenômeno (Miguel *et al.*, 2012).

A abordagem qualitativa permite explorar as características e nuances do processo produtivo por meio de entrevistas, observações diretas e análise documental. Tais procedimentos revelam padrões e aspectos que não são facilmente quantificáveis (Miguel *et al.*, 2012). Por sua vez, a abordagem quantitativa complementa a análise ao fornecer dados numéricos sobre tempos de produção, taxas de defeitos e índices de eficiência. Esses dados possibilitam a identificação de correlações e tendências relevantes (Vergara, 2000).

Conforme Prodanov (2013), a pesquisa caracteriza-se como descriptiva, explicativa e aplicada. É descriptiva, pois tem como objetivo principal a caracterização da capacidade produtiva e a identificação de fatores que afetam o processo. É explicativa, ao buscar compreender as causas e relações entre variáveis. E é aplicada, uma vez que visa solucionar problemas práticos enfrentados pela organização (Vergara, 2000).

A estratégia metodológica fundamenta-se no estudo de caso, permitindo uma análise aprofundada do contexto organizacional. A pesquisa também é bibliográfica, baseando-se em fontes reconhecidas — como livros, artigos e dissertações — para a construção do referencial teórico (Gil, 2017). Além disso, é experimental, por empregar o *software* Arena® na modelagem e simulação dos processos produtivos, o que possibilita a realização de experimentos virtuais e a posterior análise dos resultados.

O estudo envolve diferentes técnicas de coleta de dados, como análise documental, entrevistas semiestruturadas e observações diretas. Essa combinação metodológica favorece uma análise detalhada dos desafios enfrentados pela empresa e fornece subsídios consistentes para a proposição de melhorias operacionais e estratégicas.

Coleta de dados

Para a realização da pesquisa, foram realizadas visitas à empresa com o objetivo de acompanhar as atividades de produção durante o expediente. Durante essas visitas, foram coletadas, por meio de observações diretas, informações sobre o processo de produção do grampo de ancoragem, abrangendo operações-chave, como o furo lateral esquerdo, furo lateral direito, encaixe do estribo, encaixe da cunha e a etapa de embalagem.

A coleta de dados referentes a produção, foi realizada por meio da análise de registros de produção e de documentos internos, como relatórios e manuais operacionais. Além disso, observações diretas permitiram o registro dos tempos de ciclo de cada etapa do processo produtivo. A observação consistiu na análise atenta das atividades, com foco nos detalhes operacionais. Informações complementares foram obtidas por meio de entrevistas com os operadores, abordando aspectos como variações no processo e paradas não planejadas (Lakatos; Marconi, 2005).

A simulação computacional realizada compreendeu um período equivalente a uma jornada diária de trabalho, com duração total de 8 horas e 48 minutos. O ciclo teve início às 07h12min e término às 13h30min, incluindo um intervalo de 1 hora e 30 minutos para o almoço. Foram analisadas variáveis como os tempos de produção, o número de peças produzidas e a taxa de utilização dos recursos.

As atividades analisadas são predominantemente manuais e são registradas em um documento denominado Apontamento Diário da Produção. Nesse registro, detalham-se as atividades executadas, os horários de início e término de cada operação, a quantidade de peças produzidas e o tempo total de parada. As informações extraídas desse documento são transferidas para uma planilha do *software* Microsoft Excel®, que realiza os cálculos da produção por hora, facilitando a análise de desempenho operacional.

Tratamento dos Dados

A partir dos registros analisados, foram selecionados os últimos 62 dados de produção de cada colaborador, considerando-se uma atividade por vez.

A seleção dos 62 registros por atividade teve como base a disponibilidade de dados históricos recentes e contínuos, representativos da rotina produtiva da empresa. Para essa seleção, adotou-se como critério a inclusão apenas de registros iniciados após uma hora de trabalho e a limitação de um registro por dia. Essa medida visa garantir a representatividade dos dados e reduzir possíveis interferências decorrentes do aquecimento inicial das atividades operacionais.

Os dados organizados em planilhas eletrônicas foram, então, importados para o *software* Input Analyzer, pertencente ao pacote do programa Arena®. Conforme orienta Banks *et al.* (2010), essa ferramenta permite ajustar distribuições de probabilidade aos dados empíricos, contribuindo para a modelagem precisa dos processos produtivos.

Antes da análise estatística, procedeu-se à identificação e remoção de valores atípicos que poderiam comprometer a fidelidade dos resultados. Também foram realizadas correções de inconsistências e erros de medição nos dados coletados, de acordo com as boas práticas de preparação de dados sugeridas por Montgomery e Runger (2012).

Com os dados limpos e organizados, foram definidos os parâmetros estatísticos que alimentariam os modelos de simulação. Para isso, utilizou-se o Input Analyzer, ferramenta que auxilia na identificação das distribuições estatísticas mais adequadas a partir da análise de aderência dos dados coletados.

A partir de um arquivo de dados, o Input Analyzer faz o ajuste da distribuição estatística e emite um relatório contendo: i) A distribuição estatística; ii) A Expressão que representa o conjunto de dados de acordo com a distribuição estatística selecionada; iii) O erro quadrático; e iv) os testes Chi-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov. O relatório gerado pelo Input Analyzer também apresenta um sumário dos dados e da Histograma.

A seguir, apresenta-se o Quadro 1, contendo as informações geradas pelo Input Analyzer e utilizadas para a execução dos modelos de simulação.

Quadro 1 – Tempos de processamento/distribuição de probabilidade e sumário da distribuição

Tempos de Processamento/Distribuição de Probabilidade e Sumário da Distribuição					
Operação	Furo Lateral Esquerdo	Furo Lateral Direito	Encaixe do Estribo	Encaixe da Cunha	Embalagem
Sumário da Distribuição					
Distribuição	Beta	Normal	Normal	Lognormal	Gama
Expressão	7.33 + 6.67 * BETA (1.78, 2.89)	NORM (8.72, 1.62)	NORM (12.1, 2.22)	5 + LOGN (4.18, 2.85)	2 + GAMM (0.919, 6.43)
Erro quadrático	0.000985	0.024152	0.011293	0.0022777	0.005859
Test do Chi-Quadrado					
Número de intervalos	4	4	5	5	5
Graus de liberdade	1	1	2	2	2
Teste Estatístico	0.134	12.4	3.41	3.38	2.04
P-value correspondente	0.728	< 0.005	0.198	0.2	0.382

Teste de Kolmogorov-Smirnov					
Teste Estatístico	0.0742	0.0909	0.0635	0.0675	0.0743
P-value correspondente	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15	> 0.15
Sumário dos Dados e do Histograma					
Número de Pontos de Dados	39	101	81	57	64
Valor Min nos Dados	7.9	0.35	6.81	5.53	2.61
Valor Max nos Dados	13.6	13.1	18.6	15.3	14.4
Média da Amostra	9.87	8.72	12.1	9.11	7.9
Desvio Padrão da Amostra	1.36	1.63	2.23	2.35	2.18
Intervalo do Histograma	7.33 to 14	0 to 14	6 to 19	5 to 16	2 to 15
Número de Intervalos	6	10	9	7	8

Fonte: Arena Input Analyzer (2024).

Análise dos dados

A análise foi conduzida por meio da simulação de diferentes cenários no *software Arena® Student*, com o objetivo de avaliar o desempenho operacional do processo de manufatura. Para isso, foram considerados indicadores como o tempo de ciclo, a taxa de utilização das máquinas, a capacidade ociosa e a produtividade total.

Os cenários simulados incluíram variações na alocação de recursos e modificações nos processos produtivos, compatíveis com os números de colaboradores disponíveis na empresa. Essa abordagem permitiu examinar os impactos de diferentes configurações operacionais sobre os resultados obtidos.

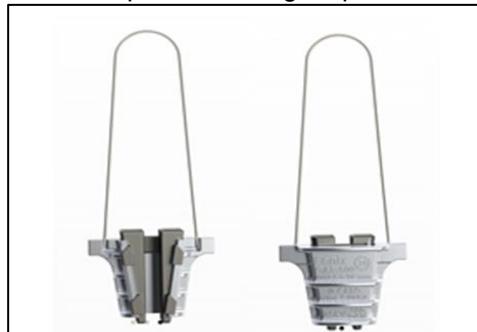
De acordo com Banks *et al.* (2010), a simulação é uma ferramenta eficaz para a compreensão e a melhoria de sistemas complexos, permitindo a visualização de possíveis consequências antes da implementação de mudanças no ambiente real. Seguindo essa perspectiva, os resultados foram analisados com o auxílio do *Input Analyzer*, ferramenta complementar do Arena®, utilizada para identificar as distribuições estatísticas mais adequadas aos dados coletados e parametrizar os modelos simulados.

RESULTADOS

Processo de Produção do Grampo de Ancoragem

O produto analisado nesta pesquisa é o grampo de ancoragem (Figura 1), utilizado para fixar cabos em estruturas de fim de linha e em ângulos acentuados. Sua função principal é garantir a estabilidade do cabo revestido na rede elétrica, promovendo a ancoragem segura ao poste.

Figura 1 – Grampo de ancoragem para cabo coberto



Fonte: O autor (2024).

O grampo é composto por três partes principais: o corpo de alumínio, o estribo e a cunha polimérica. Cada um desses componentes é produzido por meio de processos distintos e, posteriormente, são montados para compor o produto final.

a) Corpo de alumínio: fabricado por meio de um processo de fundição terceirizado, este componente oferece a resistência necessária para suportar as tensões aplicadas durante o uso.

b) Estribo: produzido a partir de uma barra de aço inoxidável fornecida por fornecedor externo, o estribo é dobrado de modo a adquirir a forma final. O processo de dobra pode ocorrer antecipadamente ou durante a etapa de montagem.

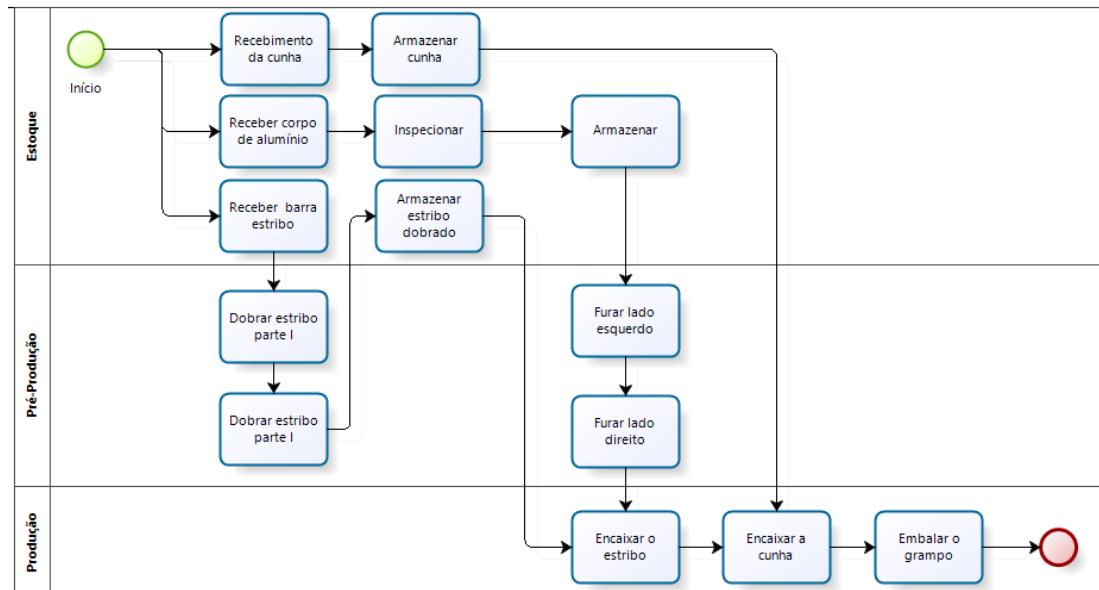
c) Cunha polimérica: é fabricada internamente na empresa por meio de uma máquina de injeção de plástico, sendo projetada para atender aos requisitos de forma e desempenho mecânico.

O processo de fabricação de grampos de ancoragem envolve diversas etapas cuidadosamente planejadas, que vão desde o recebimento das matérias-primas até a montagem final do produto. Cada fase é fundamental para garantir a qualidade, a segurança e o desempenho do produto final.

Etapas do processo produtivo

O fluxo produtivo do grampo de ancoragem é apresentado de maneira esquemática na Figura 2, facilitando a compreensão do processo. A figura ilustra, de maneira sequencial, as fases de pré-produção e produção, destacando os principais componentes que compõem o produto: a cunha, o corpo de alumínio e o estribo. Além disso, são evidenciados os procedimentos de controle de qualidade e montagem, fundamentais para assegurar a conformidade e o desempenho do grampo de ancoragem.

Figura 2 – Processo de montagem do grampo de ancoragem



Fonte: O autor (2024).

Conforme ilustrado na Figura 2, a montagem inicia-se com o recebimento e o controle de qualidade da matéria-prima. Os três principais componentes — cunha, estribo e corpo de alumínio — são inspecionados logo após o recebimento. A cunha, peça essencial no sistema de ancoragem, é inspecionada e armazenada temporariamente conforme as especificações técnicas.

O corpo de alumínio, que compõe a estrutura principal do produto, passa por uma inspeção detalhada logo após ser recebido, a fim de verificar possíveis imperfeições ou danos estruturais. O controle de qualidade nesta etapa é essencial para garantir a integridade do produto final. Após a inspeção, as peças são armazenadas até o início da produção.

A barra para o estribo, componente que será dobrado para compor a estrutura de suporte, também é recebida e armazenada de forma organizada, facilitando seu manuseio posterior. Nessa fase, é fundamental garantir que todas as peças atendam aos padrões de qualidade da empresa para evitar problemas durante a produção.

Na etapa de pré-produção, o corpo de alumínio passa por uma máquina de perfuração, onde é realizado um furo no lado esquerdo da peça, permitindo o encaixe adequado do estribo e a posterior montagem da cunha. O processo é repetido no lado direito para garantir a simetria e o correto acoplamento durante a montagem final.

A barra para o estribo passa, então, por uma máquina de dobra, sendo moldada parcialmente. Em seguida, retorna para uma segunda fase de dobra. Ao término dessa fase, o estribo está pronto para o armazenamento temporário, aguardando sua montagem com os demais componentes.

Na etapa de produção, realiza-se a montagem propriamente dita do grampo de ancoragem. O estribo é fixado ao corpo de alumínio. Nessa fase, as peças são encaixadas e fixadas firmemente, garantindo que o conjunto seja robusto e resistente. A cunha é fixada com precisão, respeitando os parâmetros de torque e posicionamento definidos pelo projeto.

Com o produto completamente montado, a etapa final é a embalagem. O produto passa por uma última inspeção para garantir que todas as peças estejam corretamente montadas e que não haja defeitos visíveis. Após a inspeção, o produto é embalado de forma segura, garantindo sua proteção durante o transporte e o armazenamento.

Modelagem e simulação do processo

Com base na descrição do processo produtivo e no número de colaboradores disponíveis, foram desenvolvidos dois modelos de simulação computacional, utilizando-se o *software* Arena® versão *Student*. Conforme orienta Banks *et al.* (2010), a simulação computacional é uma ferramenta eficaz para a avaliação de desempenho de sistemas de manufatura, permitindo testar cenários sem interromper o processo real.

Nos modelos desenvolvidos, a produção do grampo de ancoragem inicia-se somente quando o estribo está disponível. O corpo de alumínio, fabricado externamente, encontra-se previamente disponível. Por esse motivo, o tempo entre chegadas foi considerado constante, com uma taxa de uma peça a cada cinco segundos. Esse intervalo representa o tempo necessário para a retirada do corpo de alumínio da caixa por parte do colaborador 1, responsável pela primeira etapa do processo.

Como as demais peças — estribo e cunha — também estão disponíveis na bancada, o tempo de espera foi minimizado. Devido à limitação de 150 entidades na versão acadêmica do Arena®, o número máximo de chegadas foi fixado em 150 unidades (*MaxArrivals* = 150).

A simulação foi executada com duração de 25 minutos por replicação (*Replicate Time* = 25 minutos), parâmetro suficiente para observar o comportamento do sistema sob diferentes cenários. Os demais parâmetros estão apresentados no Quadro 1, localizado na seção de metodologia da pesquisa.

Modelo 1

No Modelo 1 (Figura 3), considerou-se que cada etapa do processo produtivo do grampo de ancoragem é executada por um único colaborador, totalizando cinco profissionais alocados ao processo. Com base nessa configuração, foi realizada a análise da capacidade produtiva e da taxa de ocupação dos colaboradores.

Figura 3 – Modelo 1, processo de produção do grampo de ancoragem com 5 colaboradores



Fonte: O autor (2024).

Inicialmente, o Modelo 1 foi executado com apenas 1 replicação e os resultados obtidos foram os seguintes:

- Chegada de Corpo de Alumínio: 150 unidades
- Saída de Grampo de Ancoragem: 137 unidades

Considerando que a capacidade produtiva da linha de produção é igual às 137 unidades a cada 25 minutos, tem-se uma capacidade produtiva de 328 unidades/hora. No que se refere à taxa de ocupação dos colaboradores (*Schedule Utilization Resource*), os resultados da primeira replicação indicaram os seguintes valores:

- Colaborador 1: $0,9772 = 97,72\%$
- Colaborador 2: $0,9377 = 93,77\%$
- Colaborador 3: $0,9725 = 97,25\%$
- Colaborador 4: $0,9766 = 97,66\%$
- Colaborador 5: $0,3782 = 37,82\%$

De acordo com Banks *et al.* (2010), a análise de replicações múltiplas em modelos de simulação permite maior robustez estatística e minimiza o impacto de variações aleatórias. Com base nessa diretriz, o Modelo 1 foi executado posteriormente com dez replicações, cujos resultados, em termos de média, percentual e desvio-padrão, são apresentados no Quadro 2.

Os resultados obtidos evidenciam alto grau de utilização dos colaboradores nas quatro primeiras etapas do processo. No entanto, observa-se uma subutilização do Colaborador 5, com uma taxa média de ocupação inferior a 40%. Essa discrepância indica possível ociosidade ou tempo de espera em sua etapa, sugerindo a necessidade de reavaliação do balanceamento das tarefas, conforme recomendações de Slack, Chambers e Johnston (2009) sobre a gestão eficiente da capacidade produtiva.

Quadro 2 – Resultados da simulação do modelo 1 com 10 replicações

Inputs e Outputs da Simulação					
Chegada de Corpo de Alumínio 150 unidades				Saída de Grampo de Ancoragem Média = 136,1 Desvio-Padrão = 1,59	
Taxa de Ocupação das Colaboradores (média das 10 replicações)					
Colaborador	1	2	3	4	5
Média	0,9981	0,928	0,9973	0,9741	0,3851
%	0,9981	0,928	0,9973	0,9741	0,3851
Desvio-Padrão	0,0075	0,01	0,008	0,0052	0,0209

Fonte: O autor (2024).

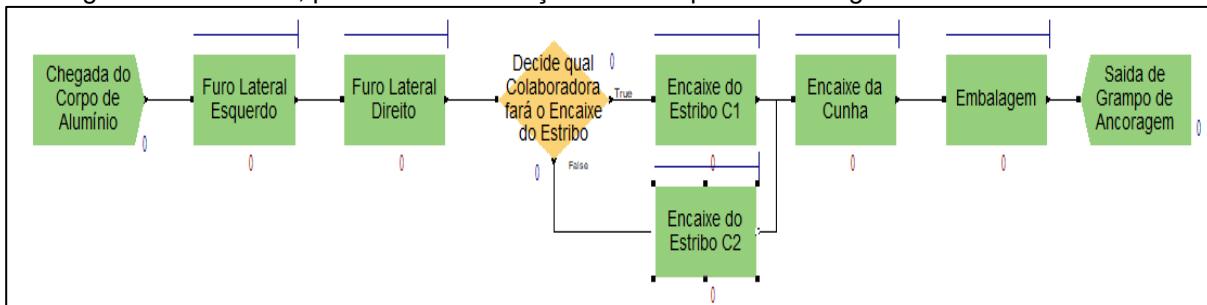
Os resultados apresentados no Quadro 2 mostram que os colaboradores das Etapas 1, 2, 3 apresentam taxa de ocupação acima de 90%, indicando que estas etapas podem constituir gargalos nos processos produtivos. Os resultados apresentados no Quadro 2 serão discutidos em maiores detalhes na seção Resultados e Discussões.

Modelo 2

Considerando que os resultados do Modelo 1 revelaram gargalos nas etapas 3 e 4 do processo produtivo — respectivamente, o encaixe do estribo e o encaixe da cunha —, foi

desenvolvido o Modelo 2. Nesse novo cenário, a Etapa 3 (Encaixe do Estribo) passou a ser executada por dois colaboradores. Com isso, o total de trabalhadores alocados ao processo aumentou para seis. A Figura 4 apresenta a estrutura do Modelo 2.

Figura 4 – Modelo 2, processo de Produção do Grampo de Ancoragem com 6 colaboradores



Fonte: O autor (2024).

Para fins comparativos, a análise do Modelo 2 manteve os mesmos critérios do Modelo 1: capacidade produtiva e taxa de ocupação dos colaboradores. De acordo com Banks *et al.* (2010), ajustes na alocação de recursos são estratégias fundamentais para lidar com gargalos identificados em processos simulados, permitindo melhor balanceamento das atividades.

Inicialmente, o Modelo 2 foi executado com apenas uma replicação. Os resultados obtidos foram os seguintes:

- Chegada de Corpo de Alumínio: 150 unidades
 - Saída de Grampo de Ancoragem: 145 unidades
- Dessa forma, considerando o tempo de produção de 25 minutos, a nova capacidade produtiva da linha foi estimada em 348 unidades por hora. Em relação à taxa de ocupação dos colaboradores (*Schedule Utilization Resource*), os resultados da simulação foram:
- Colaborador 1: $0.9968 = 99,68\%$ - Etapa 1
 - Colaborador 2: $0.8633 = 86,33\%$ - Etapa 2
 - Colaboradores 3 e 6 – Etapa 3
 - C3 = $0.6036 = 60,36\%$
 - C6 = $0.5740 = 57,40\%$
 - Colaborador 4: $0.8744 = 87,44\%$ - Etapa 4
 - Colaborador 5: $0.7384 = 73,84\%$ - Etapa 5

Posteriormente, conforme recomendação de Law e Kelton (2007) sobre a importância de múltiplas replicações para validação estatística em simulações, o Modelo 2 foi executado com dez replicações. Os resultados das 10 replicações, em termos de média, percentual e desvio-padrão, estão sintetizados no Quadro 3.

Quadro 3 – Resultados da simulação do modelo 2 com 10 replicações

Inputs e Outputs da Simulação						
Chegada de Corpo de Alumínio 150 unidades				Saída de Grampo de Ancoragem Média = 146,4 Desvio-Padrão = 2,45		
Taxa de Ocupação das Colaboradores						
Colaborador	1	2	3	4	5	6
Média	0,9844	0,8644	0,6149	0,909	0,7678	0,579
%	98,44%	86,44%	61,49%	90,90%	76,78%	57,90%
Desvio-Padrão	0,0109	0,0153	0,0457	0,0238	0,0192	0,0453

Fonte: O autor (2024).

Os resultados indicam que a redistribuição de tarefas contribuiu para uma maior produção, elevando a média de saída do processo em comparação com o Modelo 1. Apesar disso, os colaboradores da Etapa 3 ainda apresentaram baixa taxa de ocupação, o que pode indicar a necessidade de ajustes adicionais na sequência de atividades ou até mesmo no tempo de ciclo de cada tarefa. Os resultados apresentados no Quadro 3 serão discutidos em maiores detalhes na seção Resultados e Discussões.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados obtidos a partir da simulação indicam que a redistribuição das tarefas no Modelo 2 resultou em uma melhora na capacidade produtiva, com um aumento de 17 unidades produzidas por hora em comparação com o Modelo 1. Além disso, a taxa de ocupação dos colaboradores ficou mais equilibrada no Modelo 2, o que sugere que a redistribuição de tarefas pode contribuir para a redução dos gargalos no processo de produção do grampo de ancoragem.

A análise comparativa dos dois modelos demonstra a eficácia da redistribuição de tarefas na produção do grampo de ancoragem. No Modelo 1, a alta taxa de ocupação dos colaboradores nas etapas 3 e 4 apontou os principais gargalos do processo. Ao introduzir mais um colaborador na etapa 3 no Modelo 2, houve uma redução significativa na taxa de ocupação dessa etapa, resultando em uma melhora na capacidade produtiva global.

Os resultados da simulação foram analisados nos quadros 2 e 3, que mostram as 10 replicações dos Modelos 1 e 2, respectivamente. O Quadro 2 mostra os resultados da simulação do Modelo 1 com 10 replicações. Observa-se que a média de saídas de grampos de ancoragem foi de 136,1 unidades, com um desvio-padrão de 1,59. Em termos de taxa de ocupação dos colaboradores, os valores médios foram de 99,81%, 92,80%, 99,73%, 97,41% e 38,51%, para os colaboradores 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Esses resultados confirmam que a etapa 3 (Encaixe do Estribo) é o gargalo do processo, uma vez que a taxa de ocupação do Colaborador 3 é a mais alta (99,73%), seguida de perto pelo Colaborador 1 (99,81%). A alta taxa de ocupação dos colaboradores nas etapas 1 e 3 indica que essas etapas estão operando quase no limite de sua capacidade,

limitando a produção total. A ocupação relativamente baixa do Colaborador 5 (38,51%) sugere que essa etapa não é um gargalo e tem capacidade ociosa que pode ser melhor aproveitada.

O Quadro 3 apresenta os resultados da simulação do Modelo 2 com 10 replicações. A média de saídas de grampos de ancoragem aumentou para 146,4 unidades, com um desvio-padrão de 2,45. Em termos de taxa de ocupação dos colaboradores, os valores médios foram de 98,44%, 86,44%, 61,49%, 90,90%, 76,78% e 57,90% m, para os colaboradores 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

Com a redistribuição de tarefas no Modelo 2, a etapa 1 (Retirada do Corpo de Alumínio) tornou-se o principal problema do processo, com uma taxa de ocupação de 98,44%. A ocupação dos colaboradores 3 e 6, que dividem a tarefa da etapa 3, caiu para 61,49% e 57,90%, respectivamente, o que demonstra que a adição de um colaborador nessa etapa diminuiu a pressão sobre essa parte do processo. Além disso, a ocupação nas outras etapas foi mais equilibrada, com o Colaborador 5 alcançando 76,78%, sugerindo uma utilização mais eficiente dos recursos humanos.

Para avaliar o impacto das alterações propostas no processo produtivo, é essencial analisar a produção diária dos dois modelos de operação. O Quadro 4 apresenta os cálculos da produção diária para Modelos 1 e 2, considerando a capacidade produtiva e o tempo efetivo de produção.

Quadro 4 – Cálculo da produção diária modelo 1 e 2

	Cálculo da Produção Diária	
	Modelo 1	Modelo 2
Capacidade produtiva	328 unidades/hora	348 unidades/hora
Tempo efetivo de produção	7,3 horas	7,3 horas
Produção diária	$328 \text{ unidades/hora} \times 7,3 \text{ horas} = 2.396 \text{ unidades/dia}$	$348 \text{ unidades/hora} \times 7,3 \text{ horas} = 2.542 \text{ unidades/dia}$
Ganhos Potenciais	2.396 unidades/dia	2.542 unidades/dia

Fonte: O autor (2024).

A análise desses valores permitiu uma compreensão mais clara do impacto das alterações na capacidade produtiva e ajudou a avaliar a viabilidade das mudanças propostas em termos de ganhos operacionais e econômicos.

A comparação entre os modelos revela que a capacidade produtiva aumentou de 328 unidades/hora no Modelo 1 para 348 unidades/hora no Modelo 2. Considerando um tempo efetivo de produção de 7,3 horas por dia, a produção diária aumentou de 2.396 unidades/dia no Modelo 1 para 2.542 unidades/dia no Modelo 2. Esse incremento de 146 unidades/dia representa uma melhoria de aproximadamente 6,1% na capacidade produtiva.

Ao distribuir a carga de trabalho na Etapa 3 entre dois colaboradores, as taxas de ocupação dos colaboradores em etapas críticas diminuíram significativamente: A ocupação dos colaboradores passou de 97,25% e 97,66% no Modelo 1 para 60,36% e 57,40% no Modelo 2. E a ocupação caiu de 97,66% no Modelo 1 para 87,44% no Modelo

2. A ocupação nas outras etapas também sofreu ajustes, refletindo uma melhor distribuição da carga de trabalho. A ocupação aumentou de 37,82% no Modelo 1 para 73,84% no Modelo 2, indicando uma utilização mais eficiente dos recursos.

O aumento de 146 unidades/dia justifica a alocação de um colaborador adicional na linha de produção, o que resultará em um aumento na produção diária, receita e lucro da empresa. A redistribuição das tarefas tornou o processo mais eficiente, equilibrando a carga de trabalho e reduzindo os gargalos.

O aumento da produção proporciona à empresa atender a um número maior de clientes, explorar novas oportunidades e aumentar a receita, desde que os custos sejam controlados. A produção mais eficiente permite a obtenção de novos contratos e a consolidação da posição no mercado.

A redistribuição de tarefas e a otimização dos recursos humanos têm um impacto positivo na produtividade. É recomendada a implementação dessas mudanças, monitorando indicadores de desempenho para assegurar a sustentabilidade das melhorias.

O Modelo 2, que distribui tarefas e otimiza recursos, aprimora a habilidade produtiva e a receita diária, resultando em um crescimento anual significativo. A análise sugere que a organização deve fazer essas mudanças para maximizar os benefícios e melhorar sua posição no mercado.

CONSIDERAÇÕES

O presente estudo utilizou a técnica de simulação computacional no *software Arena®* versão *Student* para avaliar a capacidade produtiva do processo de fabricação de grampos de ancoragem, identificar gargalos e avaliar o nível de utilização dos recursos disponíveis. A simulação permite replicar o modelo que representa o dia a dia da empresa, revelando a capacidade produtiva e os principais problemas na linha de produção.

Os resultados da simulação mostraram que, dependendo da configuração da equipe na linha de produção, a produção diária pode variar entre 2.396 e 2.542 unidades. Os resultados possibilitaram a identificação dos gargalos, que ocorrem especialmente nas etapas de encaixe. Por meio da simulação pode-se constatar que a redistribuição de tarefas e a alocação de novos colaboradores — incluindo funcionários polivalentes na linha — podem aumentar a produtividade.

Os resultados demonstram um déficit na produção devido aos gargalos e um uso inadequado dos recursos. Para lidar com esses problemas e utilizá-los equilibradamente, a organização poderia adotar funcionários polivalentes que pudesse desempenhar diversas tarefas. A simulação, contudo, sugere que é necessário atribuir algumas tarefas a novos funcionários para aumentar a produção efetiva.

A comparação entre os dois modelos demonstrou que a redistribuição de tarefas na produção do grampo de ancoragem é eficiente. No Modelo 1, o número de funcionários nas etapas 3 e 4 revelou os principais problemas do processo. Ao adicionar mais um colaborador à etapa 3 do Modelo 2, houve uma redução significativa na taxa de ocupação dessa etapa, o que resultou numa melhora na capacidade produtiva global.

As alterações no Modelo 2 mostraram que poderá haver aumento da capacidade produtiva e da receita diária, bem como poderá gerar ganhos anuais significativos. A melhoria da eficiência e a redução de problemas podem aumentar significativamente a receita operacional da organização.

Dessa forma, recomenda-se que a empresa avalie mais detalhadamente, a implementação das mudanças sugeridas para maximizar esses benefícios e melhorar a posição da empresa no mercado.

O estudo por meio da simulação computacional, dos modelos representativos do processo de produção do grampo de ancoragem, permitiu a identificação de problemas e o teste de soluções antes da sua implementação no contexto da empresa. As melhorias indicadas pelo estudo de simulação, mostram a relevância de uma abordagem fundamentada em dados para a otimização dos processos produtivos. Uma das principais vantagens da simulação é a possibilidade de implementar alterações em um cenário alternativo, não apenas para corrigir ou melhorar processos, mas também para projetar futuros cenários, estudando e prevendo as mudanças necessárias para aumentar a eficiência no uso dos recursos.

A simulação computacional é essencial para avaliar a habilidade produtiva e reduzir perdas. É recomendável utilizar simulações para monitorar e ajustar os procedimentos, assegurando melhorias constantes. Para aprimorar a eficiência, a empresa precisa realizar simulações adicionais com diferentes cenários.

Para futuras pesquisas, sugere-se comparar os resultados produzidos pelo *Software Arena* com outras ferramentas de simulação, como *AnyLogic* ou *FlexSim*, para avaliar as suas vantagens. Sugere-se também que outros estudos analisem o impacto da variação na demanda por grampos de ancoragem na produção. Além disso, a criação de cenários futuros que considerem inovações tecnológicas e mudanças no mercado pode auxiliar a organização a se preparar para os desafios e oportunidades a longo prazo, constituem sugestões para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUT, S. Modelleme ve Simulasyon. *arXiv preprint arXiv:2208.06344*, 2022.
- AGUILAR, S. M. S.; GUIMARÃES, I. F. G.; SCHUCHTER, D. C.; MENDES, L. G. Avaliação dos benefícios da aplicação da simulação, através do software Arena 10.0, em uma empresa de transporte ferroviário. Encontro nacional de engenharia de produção, p. 1-13, 2009.
- ALQURAISH, M. Modeling and simulation of manufacturing processes and systems: Overview of tools, challenges, and future opportunities. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, v. 12, n. 6, p. 9779-9786, 2022.
- AMIGO, C. R.; IRITANI, D. R.; ROZENFELD, H. Métodos para modelagem do processo de desenvolvimento de produtos: revisão bibliográfica sistemática. *Anais*, 2012.
- ASTIN, H. S.; DAVIS, D. E. **Research productivity across the life and career cycles: Facilitators and barriers for women.** In: Scholarly writing and publishing. Routledge, p. 147-160. 2019.

AZARIAN, M.; YU, H.; SOLVANG, W. D. A simulation-based approach for improving the performance of a manufacturing system. In: 2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). **IEEE**, p. 543-547. 2021.

BANKS, S.; CATCHESIDE, P.; LACK, L. C.; GRUNSTEIN, R. R.; MCEVOY, R. D. The Maintenance of Wakefulness Test and driving simulator performance. **Sleep**, v. 28, n. 11, p. 1381-1385, 2005.

BOSSEL, H. **Modeling and simulation**. AK Peters/CRC Press, 2018.

BOUALEM, M.; CHERFAOU, M.; BOUCHENTOUF, A. A.; AÏSSANI, D. Modeling, simulation and performance analysis of a flexible production system. **European journal of pure and applied mathematics**, v. 8, n. 1, p. 26-49, 2015.

BOWERBANK, J. W. Treatment protocol *template* generation and branching logic system. U.S. **Patent Application n. 12/952,062**, 26 maio 2011.

COSTA, A. L. B. Aplicação da Simulação Computacional no Mapeamento do Fluxo de Operações de uma Empresa de Manutenção de Motores Elétricos. Trabalho de Graduação de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, MG, 2009.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações**, Ed. Atlas, São Paulo, 2010.

DAVIS, M. M. **Fundamentos da administração da produção**. Trad. Eduardo D'Agord (et al.). 3. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2001.

DE VREEDE, G. J.; VERBRAECK, A.; VAN EIJCK, D. T. Integrating the conceptualization and simulation of business processes: A modeling method and arena *template*. **Simulation**, v. 79, n. 1, p. 43-55, 2003.

DIMA, I. C. **Industrial production management in flexible manufacturing systems**. IGI global: Hershey, PA, USA, 2013.

DIMITROVA, K.; PANAYOTOVA, T.; VELEVA, N. D. Model for Research into the Factors Influencing the Effective Planning and Management of Production Capacity. **Annual journal of technical university of varna**, Bulgaria, v. 5, n. 1, p. 65-75, 2021.

DUYUN, I. A.; CHUEV, K. V. Estimation of the efficiency of flexible production systems and robotic complexes using simulation [Ocenka effektivnosti raboty gibkikh proizvodstvennyh sistem i robotizirovannyh kompleksov s ispol'zovaniem imitacionnogo modelirovaniya]. **Bulletin of BSTU named after VG Shukhov**, v. 6, n. 4, p. 91-100, 2021.

FIORONI, M. M. **Simulação em ciclo fechado de malhas ferroviárias e suas aplicações no Brasil: avaliação de alternativas para o direcionamento de composições**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Naval e Oceânica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FREITAS FILHO, P. J. de. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. 2. ed. rev. e atual. Florianópolis, SC. Visual Books, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GUANGWEI, L. I. U.; WEIQIANG, G. U. O.; SENLIN, C. H. A. I.; LI, J. Research on Production Capacity Planning Method: A case study from the Baorixile. **Open-pit Coal Mine in Northeast China**. 2023.

GUPTA, S.; STARR, M. K. **Production and operations management systems**. Boca Raton: CRC Press, 2014.

HILLER, A. P.; DO NASCIMENTO, I. B.; FLEIG, R.; KEINE, S. Mapeamento do Fluxo de Valor: Estudo de Caso no Processo Produtivo de Escova Dental. **Revista Brasileira de Gestão e Engenharia| RBGE| ISSN 2237-1664**, v. 10, n. 1, p. 99-124, 2019.

HUMPHREYS, P. **Computer simulations**. In: **PSA: Proceedings of the biennial meeting of the philosophy of science association**. Cambridge University Press, 1990. p. 496-506. 1990.

JUAN PÉREZ, A. A.; RUÍZ, R.; LOURENÇO, H. R.; MATEO DOLL, M.; IONESCU, D. A simulation-based approach for solving the flowshop problem. In: **Proceedings of the 2010 winter simulation conference**. p. 3384-3395. 2010.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção-função estratégica**. Qualitymark Editora Ltda, 2009.

KELTON, D. W.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. **Simulation with Arena**. 4 Ed., McGraw-hill, **Series in Industrial Engineering and Management Science**, 2007.

KLAPITA, V. **Simulation as Tool for Logistic Chain Optimization**. **Transport technic and technology**, v. 18, n. 2, p. 15-20, 2022.

KOLNY, D.; KACZMAR-KOLNY, E.; DULINA, L. **Modeling and simulation of the furniture manufacturing and assembly process in the arena simulation software**. **Technologia i Automatyzacja Montażu**, n. 1, p. 13-22, 2023.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos da Metodologia Científica**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2005.

LEVY, S.; STEINBERG, D. M. **Computer experiments: a review**. **AStA Advances in Statistical Analysis**, v. 94, p. 311-324, 2010.

LI, W.; HUYNH, B. H.; AKHTAR, H.; MYO, K. S. **Discrete event simulation as a robust supporting tool for smart manufacturing**. **Implementing Industry 4.0: The Model Factory as the Key Enabler for the Future of Manufacturing**, p. 287-312, 2021.

MARRELLA, A.; LESPÉRANCE, Y. **A planning approach to the automated synthesis of template-based process models**. **Service Oriented Computing and Applications**, v. 11, p. 367-392, 2017.

MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; TURRIONI, J. B.; HO, L. L.; ... **PUREZA, V. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2^a edição, Rio de Janeiro, Elsevier: ABEPRO, 2012.

MONTECCHI, L.; LOLLINI, P.; BONDAVALLI, A. **A template-based methodology for the specification and automated composition of performability models**. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 69, n. 1, p. 293-309, 2019.

MONTI, A.; CORTI, D.; PIETRAROIA, D. **A simulation model supporting the production optimization for high-precision machines assembly**. In: **Advances in Production**

2020.

Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2020, Novi Sad, Serbia, August 30–September 3, 2020, Proceedings, Part I. Springer International Publishing, p. 28-36.

MORAIS, J. M. **Utilização de simulação computacional para análise da capacidade de uma linha de produção de biscoitos recheados**. 2022. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Engenharia de Produção, Caruaru. 2022.

MORAIS, M.F. Modelagem e Simulação de sistemas. Campo Mourão, Universidade Estadual do Paraná (Unespar) - Campus de Campo Mourão, DEP – Departamento de Engenharia de Produção, 20 p. Apostila. 2013.

MOREIRA, D. A. **Introdução à administração da produção e operações**. 3. ed. São Paulo: Pioneira, 1998.

NIE, L.; WANG, X.; BAI, Y.; MU, H. Simulation analysis and optimization of production process. In: **5th International Conference on Computer Information Science and Application Technology (CISAT 2022)**. SPIE, p. 95-99. 2022.

NIEWIADOMSKA-SZYNKIEWICZ, E.; MALINOWSKI, K. Computer simulation in analysis and design of control systems. In: Automatic Control, Robotics, and Information Processing. Cham: Springer International Publishing, p. 291-326. 2020.

PRADO, D. S. **Usando o ARENA em simulação**. 6. ed. Nova Lima: Falconi Editora, 2019.

PRODANOV, C. C; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**– 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

QARAHASANLOU, A. N.; HAZRATI, A.; BARABDI, A.; KHODAYARI, A.; MOKHBERDORAN, M. Industrial equipment's throughput capacity analysis. In: International Congress and Workshop on Industrial AI. Cham: Springer International Publishing, p. 99-111. 2021.

RAMACHANDRAN, S. Are Simulations Effective as Job Performance Assessment Tools?. In: **E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education**. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), p. 395-404. 2013.

SCHELASIN, R. E.; HAYES, S.; PARKS, F. M. Capacity models for integrated equipment in semiconductor manufacturing. In: **Flexible Automation and Integrated Manufacturing 1994**. Begell House. 1994.

SCHULMAN, B.; BLAKE, J. T.; DONALD, R. A production capacity investment decision-making tool for the indoor vertical farming industry. **Smart Agricultural Technology**, v. 5, p. 100244, 2023.

RAMOS NETO, A. N.; PINTO, L. R. *Template* do programa Arena para simulação das operações de carregamento e transporte em minas a céu aberto. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 57, p. 65-69, 2004.

SILVA, P. A. Simulação computacional distribuída: aplicação a problemas de folding de heteropolímeros. 2017. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências farmacêuticas) - Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto. 2017.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

SOARES, R. D. O. **Análise da capacidade produtiva de uma empresa do segmento metalúrgico**. 2015. 68 f. Monografia apresentada para obtenção do grau de Bacharel em Administração de empresas, da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. 2015.

SOUZA, M. J. F. **Inteligência computacional para otimização**. Notas de aula, Departamento de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, v. 6, 2008.

STEVENSON, W. J. **Administração das operações de produção**. 6^a ed. Editora LTC. 2001.

TREBUKHIN, A. G.; FILATOVA, N. N.; SIDOROV, K. V. An algorithm for generating consistent decision rules for assessing *template* diagrams. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2021.

ARENA BASIC USER'S GUIDE. Rockwell Automation, Inc. United States of America: Allen-Bradley, 2010,

VERGARA, S. C. Começando a definir a metodologia. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**, v. 3, p. 46-53, 2000.

WANG, H.; LI, H.; BHOWMICK, S. S.; XU, B. ARENA: Alternative Relational Query Plan Exploration for Database Education. In: **Companion of the 2023 International Conference on Management of Data**. p. 107-110. 2023.

WEI, Y.; ZHANG, J.; LI, G.; HU, K.; NIE, Y.; LI, S.; ... LEI, Q. Material Properties and Electric–Thermal–Stress Multiple Fields Coupling Simulation of Power Distribution Cable Accessories. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 30, n. 1, p. 359-367, 2022.

WINTER, M.; LUTTKAU, A.; LÖDDING, H. Produktionskennlinien mit Kapazitätsflexibilität. **wt Werkstattstechnik online**, v. 111, n. 4, p. 190-194, 2021.

ZHENG, J.; ZHAO, Z.; ZENG, Y.; SHI, B.; YU, Z. An event-driven real-time simulation for power electronics systems based on discrete hybrid time-step algorithm. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 70, n. 5, p. 4809-4819, 2022.