

USO DE SIMULAÇÃO EM PROPOSTA PARA IMPLANTAÇÃO DE NOVA FÁBRICA DE COMPONENTES AUTOMOTIVOS

Alaércio de Paris¹
Luis Maurício Braga²
Vagner Luis Bazzanello³
Charlize de Moraes Noval⁴
Sueli Maria Kolassa⁵
Marcel Brambatti⁶

RESUMO: Investir na construção de novas fábricas envolve muitos riscos, pois os valores são altos e existem incertezas envolvidas no processo. Decisões equivocadas no processo de planejamento dessas fábricas, se levadas adiante, podem causar prejuízos e custar caro para serem corrigidas. Utilizar simulação computacional é uma alternativa para mitigar esses riscos e avaliar diferentes configurações de sistemas de produção, permitindo economias de tempo e de recursos financeiros, principalmente. Este artigo apresenta um estudo de caso utilizando simulação computacional para avaliar diferentes configurações de projetos para uma nova fábrica de componentes para a indústria automobilística. A modelo base foi construído a partir do escopo original de implantação da fábrica, projetado sem uso de ferramenta de simulação. A partir deste foram feitas alterações em variáveis estipuladas como chaves para a performance da fábrica, resultando em novos cenários e novas configurações para o mesmo projeto. São descritos detalhadamente os principais passos para a construção dos modelos, configuração das variáveis chaves, além da coleta, configuração e validação dos dados. Por fim, o estudo mostra-se eficaz por apresentar os passos para aplicar a simulação computacional na construção de projetos para a implantação de fábricas voltadas à produção de componentes para a indústria automotiva.

Palavras chave: Simulação Computacional. Projetos de Fabricas. Indústria Automobilística. Otimização.

¹ Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos/RS. Coordenador dos Cursos de Ciências Sociais Aplicadas e Análise e Desenvolvimento de Sistemas pelo Centro Universitário do IDEAU (UNIDEAU) – Campus Getúlio Vargas/RS, Rua Emilio Fiebig, 8, CEP 99704-390, Bairro Linho, Erechim-RS, alaerციodeparis@gmail.com.

² Mestre em Computação Aplicada pela Universidade de Passo Fundo/RS, Professor Titular Ciências Sociais Aplicadas e Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela UNIDEAU – Campus Getúlio Vargas/RS, R. Carlos Kehlers, 192 Ap.703, CEP 99700-400, Bairro Centro, Erechim/RS, mauriciobraga@ideau.com.br.

³ Mestre em Administração - Gestão, Internacionalização e Logística pela UNIVALI – Campus Itajaí/SC, Professor Titular Ciências Sociais Aplicadas pela UNIDEAU – Campus Getúlio Vargas/RS, Rua Germano Seller, 193, CEP 99718-000, Bairro Centro, Paulo Bento/RS, vagnerbazzanello@ideau.com.br.

⁴ Mestra em Administração - Gestão, Internacionalização e Logística pela UNIVALI - Campus Itajaí/SC, Professora Titular Ciências Sociais Aplicadas pela UNIDEAU – Campus Getúlio Vargas/RS, Rua Independência, 193, CEP 99920-000, Bairro Centro, Erebangó/RS, charlizenoval@ideau.com.br.

⁵ Mestranda em Administração - Gestão, Internacionalização e Logística pela UNIVALI - Campus Itajaí/SC, Professora Titular Ciências Sociais Aplicadas pela UNIDEAU – Campus Getúlio Vargas/RS, Rua Adolfo Testa, 21, CEP 99900-000, Bairro Champagnat, Getúlio Vargas/RS, suelikolassa@ideau.com.br.

⁶ Mestrando em Administração pela UNIVALI – Campus Itajaí/SC, Professor Titular Ciências Sociais Aplicadas e Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela UNIDEAU – Campus Getúlio Vargas/RS, marcel@ideau.com.br, R. José Morganti, 56 Ap.302, CEP 99709-224, Bairro Fátima, Erechim/RS.

ABSTRACT: Making investments to build new factories involves many risks, as the values are high and there are uncertainties involved in the process. Wrong decisions in the planning process of these factories, if taken forward, can cause losses and cost expensive to correct. Using computer simulation is an alternative to mitigate these risks and evaluate different configurations of production systems, mainly saving time and financial resources. This article presents a case study using computer simulation to evaluate different design configurations for a new component factory for the automotive industry. The base model was built from the factory's original implantation scope, designed without the use of a simulation tool. From this, changes were made to variables stipulated as keys to the factory's performance, resulting in new scenarios and new configurations for the same project. The main steps for the construction of models, configuration of key variables, in addition to data collection, configuration and validation are described in detail. Finally, the study proves to be effective for presenting the steps to apply computer simulation in the construction of projects for the implementation of factories aimed at the production of components for the automotive industry.

Keywords: Computational Simulation. Factory Projects. Automotive Industry. Optimization.

INTRODUÇÃO

O projeto de uma nova fábrica deve considerar diversos aspectos financeiros, funcionais, administrativos, e operacionais para que seja um diferencial competitivo para as organizações. Em alguns casos, o produto é estratégico, envolve tecnologia diferenciada, patentes ou segredos de indústria.

Tais características podem demandar configurações específicas de manufatura, o que é difícil de prever durante o processo de implantação. Em alguns casos, implantar uma nova fábrica é uma forma de as organizações expandirem suas atividades. Em outros casos, como no caso deste estudo, a empresa objetiva internalizar parte da produção de alguns dos seus componentes outrora terceirizados.

Todos os sistemas possuem restrições, e de acordo com Goldratt (1997), toda organização tem, em um dado momento no tempo, pelo menos uma restrição que limita a performance do sistema em relação à sua meta. A agilidade da empresa em identificar a sua restrição e a habilidade para encontrar meios de minimizá-la diferenciarão a sua performance operacional. As restrições não são essencialmente difíceis de serem contornadas, mas há sempre o risco de uma restrição tornar-se um gargalo para a empresa. Conforme Goldratt (1997), essas restrições podem ser classificadas como restrições internas e restrições externas, ou de mercado, e, para gerir a performance do sistema, a restrição deve ser identificada e administrada corretamente.

Este trabalho é um estudo de caso e busca, a partir da análise de um projeto original, explorar outros cenários que possam atender às demandas esperadas com melhores desempenhos em alguns fatores críticos de sucesso do projeto. São simulados 37 cenários possíveis para a implantação de uma fábrica de componentes automotivos para uma

fabricante de veículos de transporte coletivo de passageiros, buscando-se identificar qual a configuração que apresentará o melhor desempenho dentro dos parâmetros buscados.

Para este trabalho é utilizado o software Arena como ambiente de simulação. A partir de dados reais coletados, é construído um modelo base, o qual contempla as mesmas configurações originais de um projeto para a implantação de uma fábrica de poltronas automotivas, elaborado pelo departamento de Engenharia Industrial de uma Indústria Automotiva.

REVISÃO TEÓRICA

Para Xu, Moon e Baek (2012), a indústria passou a olhar mais de perto para a simulação de eventos discretos como uma ferramenta para ajudar os sistemas de produção, a partir do momento em que as teorias clássicas baseadas apenas na eficiência da produção passaram a não mais atender os patamares de competitividade das indústrias. Outras medidas de desempenho como qualidade, confiabilidade, complexidade e o aumento de clientes mais a diversificação da demanda, passaram a fazer parte do planejamento e da estratégia das organizações.

A simulação computacional é uma ferramenta que vem sendo amplamente utilizada na indústria com a finalidade de melhorar o entendimento sobre possíveis eventos os quais não se conhece. Para Schriber (1977), a simulação é uma imitação dos processos de operação no mundo real e envolve a geração de um histórico artificial para os sistemas. Além disso, a simulação também envolve observações e inferências para desenhar essas características para representar os sistemas reais.

Conforme Harrellet *et al* (2000), a maneira como a simulação de um sistema trabalha está diretamente ligada ao tipo de simulação empregada. As classificações mais usadas para simulação são dinâmicas ou estáticas, determinística ou estocástica e discreta ou contínua. Uma simulação do tipo estática, segundo Law e Kelton (1982), é um tipo de simulação onde o tempo não é levado em consideração. Como exemplo, tem-se aplicações do Método de Monte Carlo com aplicações em finanças.

Uma outra caracterização dos tipos de simulação diz respeito às entradas e saídas dos sistemas. Quando a simulação tem entradas constantes, e conseqüentemente, saídas constantes, é chamada de determinística. Já numa simulação do tipo estocástica, as entradas são regidas por uma distribuição de probabilidade. Dessa forma, também as saídas serão variadas e em cada novo recálculo, pode-se obter diferentes valores para essas saídas.

Conforme Duarte (2003), uma terceira classificação dos tipos de simulação é a separação em simulações discretas e contínuas. Na simulação discreta as variáveis de estado mudam de forma não contínua no tempo, ou seja, sofrem mudanças bruscas. Na simulação contínua, a mudança de estado de uma variável ocorre de forma continuada no tempo, ou seja, sem rupturas. Outra forma de diferenciação entre esses dois tipos de simulação é o uso de equações diferenciais na simulação contínua para descrever a transformação das suas variáveis no tempo.

Este artigo foi elaborado a partir do estudo de caso em uma empresa brasileira fabricante de veículos automotores para transporte coletivo de passageiros. Seu faturamento anual é superior a 500 milhões e seu *share* no mercado brasileiro é de aproximadamente 15%. Seu portfólio apresenta 7 linhas de veículos com diversas configurações que visam atender a grande maioria das opções demandadas pelo mercado.

Um dos componentes terceirizados foram as poltronas, conforme mostra a Figura 1. Cada veículo utiliza aproximadamente 25 poltronas duplas ou 50 lugares que ocupam um volume de armazenagem ou transporte, de aproximadamente 15m^3 . Além disso, para que se possa otimizar transporte e armazenagem, é necessário utilizar *racks* resistentes, retornáveis e especiais para acomodar cada modelo de poltrona. O seu custo representa aproximadamente 15% do valor total de cada veículo e é um dos itens mais importantes para a percepção dos clientes e dos usuários do transporte coletivo.



Figura 1. Poltrona automotiva, objeto deste trabalho.
Fonte: Autores, 2021.

Cada veículo recebe uma distribuição específica com um certo número de poltronas, que na média fica em torno de 25 poltronas, conforme mostra a Figura 2.

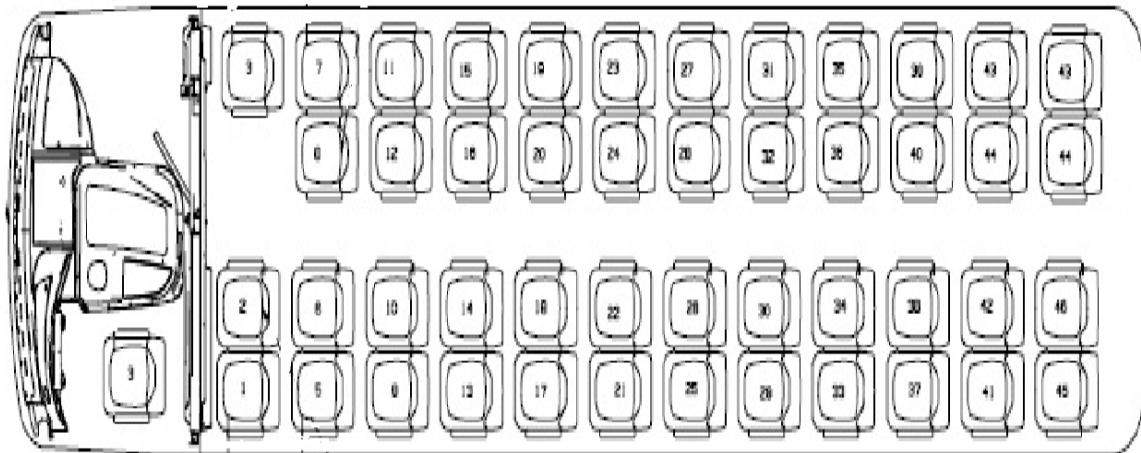


Figura 2. Distribuição de poltronas em um veículo.
 Fonte: Autores, 2021.

É a partir dessa distribuição por veículo que é feita a programação de todas as áreas fabricantes dessas poltronas, como costura, estofaria e montagem.

As principais diferenças entre as poltronas são relativas ao lado do veículo em que elas serão montadas; direito ou esquerdo, e o tipo de revestimento que receberão; tipo de tecido e cor. Essas diferenças não impactam em diferenciação de atividades para este trabalho, pois as tarefas e os tempos são idênticos para essas mudanças.

Para se fabricar uma poltrona, são necessárias várias atividades e essas são agrupadas por semelhanças de processos. As principais áreas envolvidas nesse processo são: Setor de Fabricação de Estruturas; Setor de Enfiado dos tecidos; Setor de Costura das Capas; Setor de Estofaria; Setor de Montagem das Poltronas.

Neste estudo não será trabalhado o setor de Fabricação de Estruturas, apenas os demais setores por serem o foco do projeto original da empresa estudada. Considera-se, portanto, que as estruturas chegarão ao setor de montagem das poltronas seguindo uma determinada programação de entrega da área de materiais.

Cada atividade, dentro de cada setor, possui uma determinada configuração de número de pessoas e de tempo necessários para que sejam elaboradas. A montagem final das poltronas é feita em uma linha contínua, chamada de carrossel, conforme mostra a Figura 3. As estruturas de poltronas são carregadas em um dos lados, presas a um gabarito que as mantém numa posição favorável ao trabalho de montagem e essa linha se movimenta levando as poltronas até os operadores que montarão os componentes. No final da linha, as poltronas prontas são retiradas e armazenadas em um dispositivo que as transportará até os veículos onde serão instaladas.

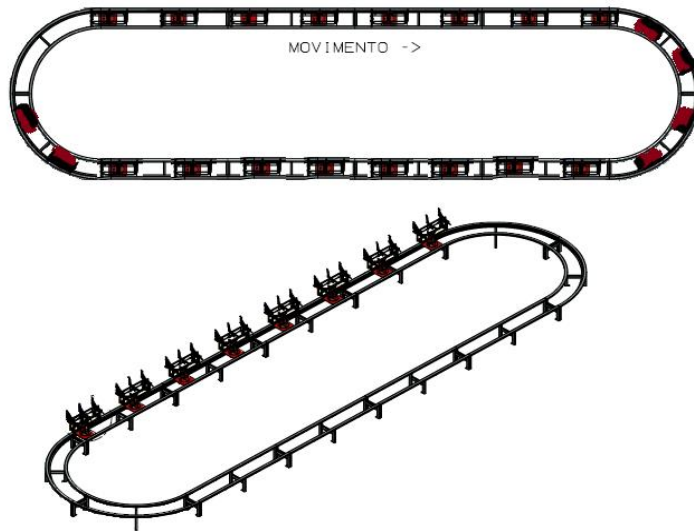


Figura 3. Carrusel de montagem das poltronas
Fonte: Autores, 2021.

Para atender aos objetivos do projeto de internalização da produção dessas poltronas, é necessário estudar mais de um modelo fabril para poder analisar as necessidades de investimentos em área construída, máquinas e equipamentos, postos de trabalho, número de atividades e quantidade de pessoas necessárias para se produzir uma determinada demanda. Contudo, como não há uma fábrica tal montada e que possibilite estudar essas alternativas, a melhor solução foi adotar a modelagem computacional.

No contexto apresentado acima, o problema pesquisado refere-se a encontrar qual configuração de projeto de fábrica melhor atenda aos seguintes requisitos: produção mínima de 800 poltronas por semana; utilização da menor área construída contendo todos os setores de produção; utilização do menor número de pessoas para realizar todas as tarefas; menor investimento em máquinas, gabaritos e kits de ferramentas pneumáticas.

Conforme orientação da empresa foco, o projeto devia contemplar uma fábrica que atendesse aos volumes esperados de produção, consumindo o menor investimento possível, alocando o menor número de recursos de produção possível e garantindo os padrões de produção para uma indústria automotiva.

O volume mínimo de produção foi baseado na demanda semanal de veículos que a montadora previu fabricar e que demanda o uso dessas poltronas. Uma vez internalizada a produção, todos os veículos produzidos devem utilizar poltronas fabricadas nessa nova planta que está sendo projetada. A área construída deveria ser otimizada, tanto para reduzir o volume de investimento quanto para utilizar apenas o terreno já disponível na planta da montadora. Seria preferível explorar o uso de mais de um turno de trabalho que ampliar a

área construída.

O número de pessoas necessárias para a produção do volume mínimo de poltronas deveria ser otimizado pois os gastos com a folha de pagamentos e demais gastos ligados ao efetivo representam o maior custo fixo de uma fábrica de poltronas. Da mesma forma, deveriam ser exploradas diversas possibilidades de horários para evitar, na medida do possível, os gastos com adicional noturno, que representa cerca de 32% de acréscimo aos salários nominais das pessoas que trabalharem no turno da noite. Investimento em máquinas e ferramentas pneumáticas deve ser minimizado por dois motivos: primeiro para reduzir o investimento inicial no projeto e segundo para reduzir futuros gastos com manutenção desses equipamentos.

Quanto maior o número de equipamentos em operação, depois de um certo período, que vai depender das características de cada equipamento, os gastos com manutenção tendem a aumentar.

METODOLOGIA

Havendo a necessidade de internalizar a produção das poltronas utilizadas nos ônibus, outrora terceirizadas, conforme apresentado anteriormente neste trabalho, surge a questão norteadora desta pesquisa: qual a melhor configuração para uma fábrica de poltronas automotivas que serão utilizadas por uma fabricante de ônibus brasileira?

O objetivo deste trabalho foi, então, identificar a melhor configuração para uma fábrica de poltronas automotivas que serão utilizadas por uma fabricante de ônibus brasileira, a partir da simulação de 37 diferentes cenários que podem ser utilizados na construção dessa fábrica. Todo o trabalho é desenvolvido em etapas, cada qual com características específicas e sequência lógica de aplicação na pesquisa, conforme relatado a seguir

Projeto de Simulação

Para a elaboração deste trabalho foram seguidos alguns passos conforme sugere Banks (1998) e Law e Kelton (2000). A primeira etapa do processo de simulação consiste no planejamento e na coleta dos dados para a construção do modelo. Nessa etapa, foram identificadas todas as atividades necessárias para a montagem de uma poltrona e cada uma dessas atividades teve seus tempos mapeados. Foram coletadas 150 amostras de tempos de

montagem para cada uma das atividades de construção da poltrona. Esses tempos foram tabelados no Excel para posteriormente serem utilizados na configuração das atividades no simulador. A partir dessas análises de tempos de montagem de cada atividade e da produção diária necessária para atender a demanda de produção da fábrica, foram identificadas as quantidades de pessoas necessárias para montar cada atividade em cada turno de trabalho.

A segunda etapa consistiu em gerar as distribuições de probabilidades para cada atividade. Nesta etapa os dados foram importados utilizando a ferramenta computacional *input analyzer* do Arena e foram testadas as distribuições possíveis até se encontrar aquela que melhor representaria a distribuição dos valores de tempos. Na sequência, foram geradas expressões para cada distribuição e essas expressões foram utilizadas para configurar as distribuições de tempos de cada atividade no simulador. A terceira etapa foi a construção do modelo no Arena. Para isso utilizou-se o mapeamento de todas as atividades envolvidas na fabricação das poltronas e a sequência dessas atividades. Foram criados os *schedules* padrões de funcionamento da fábrica, foram cadastrados os recursos necessários para a produção, as pessoas, também consideradas recursos, foram alocadas em seus respectivos *schedules* e passou-se a configurar as atividades. Para facilitar a alocação dos recursos em cada atividade, foram criados *sets* com as configurações específicas e esses *sets* foram utilizados nas atividades. Da mesma forma, os tempos de cada tarefa foram configurados utilizando as expressões geradas no *input analyzer*, conforme relatado anteriormente.

Na quarta etapa, o modelo já construído foi verificado para identificar possíveis erros e foi validado com análises dos dados gerais relatados pelo Arena, principalmente o número de poltronas produzidas. A validação foi feita através da análise da produção atingida, feita por um responsável da empresa fabricante de ônibus estudada, que tem experiência e conhecimento do processo de produção de poltronas. A quinta etapa do processo consistiu em configurar os demais 36 cenários a serem simulados. Para essa configuração utilizou-se as distribuições de recursos e atividades com base no planejamento realizado na primeira etapa deste estudo. Na sequência, foram rodados todos os modelos e gerados os dados de cada cenário para posteriores análises.

Na sexta etapa, os dados gerados após as rodadas de simulação de cada cenário foram testados utilizando-se o teste Shapiro-Wilk, no software R, para verificar os padrões de normalidade desses dados. Para Cantelmo e Ferreira (2007), a suposição de normalidade dos dados amostrais ou experimentais é uma condição exigida para a realização de muitas inferências válidas a respeito de parâmetros populacionais. Vários dos diferentes métodos de estimação e testes de hipóteses existentes foram formulados sob a suposição de que a

amostra aleatória tenha sido extraída de uma população normal. Da mesma forma que ocorre no caso univariado, têm-se inferências multivariadas sobre parâmetros que são vetores ou matrizes, pois a estatística multivariada é lida com observações simultâneas de várias variáveis. Os testes de hipóteses e os métodos de estimação são, em geral, baseados na suposição de normalidade multivariada da amostra aleatória.

Obtendo-se as referidas confirmações nos testes de normalidade, é possível passar para a etapa das análises comparativas dos parâmetros que se pretende avaliar nos modelos simulados. Essas análises dependerão dos objetivos de cada pesquisador e preferencialmente devem ser guiadas por padrões estatísticos.

Apresentação do estudo

A construção do modelo base foi feita a partir dos atributos de um projeto original feito sem a utilização de software de simulação. Esse projeto trouxe uma série de atividades mapeadas e distribuídas para um determinado número de operadores, utilizando-se um tempo médio de realização para cada uma dessas atividades. Essa configuração está demonstrada na Figura 4.

TEMPO DE CICLO		1 - Tarefa Padrão	2590	TAKT:	Nº AVANÇOS:																			
255 min		2 - Tarefa Opcional	0	240 s	4 Avanços /																			
		3 - Tarefa Especial	0		TURNO																			
TAREFAS					OPERADORES																			
SEQUENCIA POSTO	DESCRIÇÃO DA TAREFA	TIPO	TEMPO PADRÃO (SEG)	TAREFA ANTERIOR	PADRONIZAÇÃO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
						1	Rebitar encosto com assento	1	166			X												
2	Buscar estrutura no carrinho	1	25				X	X																
3	Montar encosto e fixar bracelete central (gabaritos)	1	114	2			X																	
4	Montar encosto e fixar bracelete central (gabaritos)	1	114	2				X																
5	Levar estrutura até o carrossel	1	40	3		X	X	X																
6	Montagem do cinto de segurança	1	180						X															
7	Montagem do acabamento do cinto	1	60						X															
8	Fixar braceletes laterais	1	54							X														
9	Montar apoio pé (balancin)	1	128							X														
10	Montagem do suporte da mola do descansa perna	1	57								X													
11	Posicionar capas e passar barbantes	1	104								X													
12	Montar estrut. Descansa perna, passar cola, encapar poltrona e grampear (6 min)	1	240								X													
13	Montar estrut. Descansa perna, passar cola, encapar poltrona e grampear (6 min)	1	240									X												
14	Montar estrut. Descansa perna, passar cola, encapar poltrona e grampear (6 min)	1	240										X											
15	Montagem dos acab. Laterais	1	240											X										
16	Montagem dos acab. Traseiro	1	167												X									
17	Montagem do acab. Traseiro e fixação	1	255													X								
18	Montar acento	1	146														X							
19	Retirar poltronas do carrossel	1	20						X									X						
20																								
21	Tarefas realizadas fora do carrossel																							
22	Encapar assentos (mulher)	1	202															X	X	X				

Figura 4. Distribuição de atividades para o projeto original da fábrica de poltronas.

Fonte: Autores, 2021.

Essa configuração original trazia poucos dados, apenas uma distribuição das atividades que deviam compor a fabricação de uma poltrona, o tempo médio necessário para se executar cada uma dessas tarefas. Faltavam informações básicas como a sequência das atividades e as suas relações de dependência, as variações nos tempos de montagem de cada tarefa, entre outros parâmetros importantes para a estruturação do projeto.

Foram exploradas diferentes configurações de número de pessoas por setor e distribuição dessas pessoas entre os turnos de trabalho 1 e 2. Da mesma forma, foram exploradas 3 diferentes configurações de quantidades de gabaritos para comporem a formação do carrossel de montagem das poltronas. Também foram quantificadas as áreas necessárias para acomodar cada uma das configurações simuladas, somadas às áreas fixas, que não mudam em virtude das alterações de configuração dos cenários.

Coleta dos dados

Como indicado anteriormente, para configurar as atividades do modelo, foram coletados 150 tempos de cada tarefa. Esses tempos foram dispostos em uma planilha no Excel. Em seguida, utilizando o *Input Analyzer*, esses dados foram importados e foram feitos testes para identificar o modelo de distribuição mais adequado para cada sequência de dados. Foi então gerada uma expressão que traduzisse essa distribuição e inserida como *expression* na configuração de cada atividade.

Na sequência, foi feita uma divisão do número de tarefas necessárias para montar cada poltrona e da soma total de tempos para montar essas poltronas, pelo número de operadores disponíveis em cada turno e em cada cenário. Essa divisão resultou em uma distribuição de tarefas para cada operador em cada turno de trabalho. Com isso, a soma total dos tempos disponíveis de cada operador, dividida pela média simples dos tempos para montar cada tarefa resultam em um número médio de poltronas montadas por cada operador ao final de cada turno de trabalho. Contudo, como os comportamentos dos tempos são diferentes para cada tarefa, era necessário utilizar expressões resultantes das análises das 150 amostras de tempos por tarefa para se obter um resultado próximo da realidade.

Tradução do modelo

Depois de cada atividade ter sido configurada, foi feita a configuração dos *schedules*, conforme os horários dos turnos de trabalho 1 e 2 e foram alocadas as pessoas

em cada um desses turnos, construindo assim a configuração do modelo base para o projeto. Para configurar esses *schedules*, foram criados e configurados turnos de trabalho, com horários de início e fim das atividades. Posteriormente, cada recurso cadastrado no modelo foi alocado nos respectivos turnos de trabalho, de acordo com a distribuição desses recursos em cada cenário testado. O modelo, foi então rodado para verificar a existência de possíveis erros e corrigi-los.

Após constatado que o modelo estava rodando, foi feita uma verificação dos parâmetros para garantir que os mesmos estivessem o mais próximo possível da realidade a ser simulada e que os dados obtidos estivessem de acordo com os padrões esperados numa situação real. Esses dados foram validados junto à responsáveis da empresa que conhecem os processos produtivos e que puderam avaliar se as informações estavam coerentes ou se pudesse haver algumas discrepâncias nos valores obtidos.

Configuração dos cenários alternativos

Depois de validar o cenário base, cada um dos demais 36 cenários foi configurado utilizando-se parâmetros específicos, identificados como chaves para o sucesso do projeto para a fabricante de ônibus, mostrados em partes, nos Quadros 1 e 2, e salvos em novas pastas para possibilitar que fossem rodados ou remodelados individualmente.

Para agilizar o tempo de configuração dos cenários alternativos, a maioria das configurações possíveis foram parametrizadas no cenário base. A ativação de cada variável, porém, somente é feita no cenário em que ela deve aparecer. Nos demais cenários os dados permanecem inativos.

Quadro1. Configurações dos cenários a serem simulados no Arena

Cenário	Costur.	Enfest.	Estof.	Op. Carross.	Gabaritos	Maq. Cost.	Área Const.	Área Carross. M ²	N. Pess. T1	N. Pess. T2	Tot. Pess.	Área Fixa	Área Total	N. Kits Pneum.
Base	10-0	4	4-4	12-12	22	10	4	6	30	16	46	200	372	16
2	10-0	3	4-4	12-12	22	10	4	6	29	16	45	200	372	16
3	10-0	3	4-4	15-9	35	10	4	6	32	13	45	200	450	19
n	10-0	3	8-0	24-0	45	10	4	6	45	0	45	200	510	32

Fonte: Autores, 2021.

Quadro 2. Parâmetros de custeio e valores de investimentos por cenário analisado

Custo por Máq. Costura	Custo por Gabarito Carrossel	Custo por Kit Ferr. Pneumáticas	Custo m2 Construção	Valor Salário por Pessoa Turno 1	Valor Salário por Pessoa Turno 2	Total de salários	Custo total da área construída	Custo Total de Maq. Costura	Custo Total Gabaritos Carrossel	Custo Total Ferramentas Pneumáticas	Custo total por Cenário
R\$ 3.500,00	R\$ 1.200,00	R\$ 4.000,00	R\$ 230,00	R\$ 100,00	R\$ 132,00	R\$ 5.112,00	R\$ 85.560,00	R\$ 35.000,00	R\$ 26.400,00	R\$ 64.000,00	R\$ 216.072,00
R\$ 3.500,00	R\$ 1.200,00	R\$ 4.000,00	R\$ 230,00	R\$ 100,00	R\$ 132,00	R\$ 5.012,00	R\$ 85.560,00	R\$ 35.000,00	R\$ 26.400,00	R\$ 64.000,00	R\$ 215.972,00
R\$ 3.500,00	R\$ 1.200,00	R\$ 4.000,00	R\$ 230,00	R\$ 100,00	R\$ 132,00	R\$ 4.916,00	R\$ 103.500,00	R\$ 35.000,00	R\$ 42.000,00	R\$ 76.000,00	R\$ 261.416,00
R\$ 3.500,00	R\$ 1.200,00	R\$ 4.000,00	R\$ 230,00	R\$ 100,00	R\$ 132,00	R\$ 4.500,00	R\$ 117.300,00	R\$ 35.000,00	R\$ 54.000,00	R\$ 128.000,00	R\$ 338.800,00
R\$ 3.500,00	R\$ 1.200,00	R\$ 4.000,00	R\$ 230,00	R\$ 100,00	R\$ 132,00	R\$ 5.212,00	R\$ 85.560,00	R\$ 35.000,00	R\$ 26.400,00	R\$ 72.000,00	R\$ 224.172,00
R\$ 3.500,00	R\$ 1.200,00	R\$ 4.000,00	R\$ 230,00	R\$ 100,00	R\$ 132,00	R\$ 4.916,00	R\$ 103.500,00	R\$ 35.000,00	R\$ 42.000,00	R\$ 76.000,00	R\$ 261.416,00
R\$ 3.500,00	R\$ 1.200,00	R\$ 4.000,00	R\$ 230,00	R\$ 100,00	R\$ 132,00	R\$ 4.500,00	R\$ 117.300,00	R\$ 35.000,00	R\$ 54.000,00	R\$ 128.000,00	R\$ 338.800,00
R\$ 3.500,00	R\$ 1.200,00	R\$ 4.000,00	R\$ 230,00	R\$ 100,00	R\$ 132,00	R\$ 5.212,00	R\$ 85.560,00	R\$ 35.000,00	R\$ 26.400,00	R\$ 72.000,00	R\$ 224.172,00
R\$ 3.500,00	R\$ 1.200,00	R\$ 4.000,00	R\$ 230,00	R\$ 100,00	R\$ 132,00	R\$ 5.116,00	R\$ 103.500,00	R\$ 35.000,00	R\$ 42.000,00	R\$ 84.000,00	R\$ 269.616,00
R\$ 3.500,00	R\$ 1.200,00	R\$ 4.000,00	R\$ 230,00	R\$ 100,00	R\$ 132,00	R\$ 4.700,00	R\$ 117.300,00	R\$ 35.000,00	R\$ 54.000,00	R\$ 136.000,00	R\$ 347.000,00
R\$ 3.500,00	R\$ 1.200,00	R\$ 4.000,00	R\$ 230,00	R\$ 100,00	R\$ 132,00	R\$ 5.112,00	R\$ 85.560,00	R\$ 35.000,00	R\$ 26.400,00	R\$ 64.000,00	R\$ 216.072,00

Fonte: Autores, 2021.

Definição do tamanho da amostra

O passo seguinte foi estabelecer o tamanho da amostra a ser utilizada para fazer as análises comparativas dos diferentes cenários do projeto. Para Miot (2011), o planejamento amostral da pesquisa determina o dimensionamento numérico e também a técnica de amostragem (coleta/seleção) dos elementos de um estudo. Dessa forma, torna-se fundamental na elaboração do projeto, e seus problemas podem comprometer a análise final dos dados e interpretação dos resultados. O planejamento amostral adequado depende do conhecimento básico da estatística do estudo e do conhecimento profundo do problema investigado, a fim de que se possa unir a significância estatística dos testes ao significado clínico dos resultados.

Segundo Miot (2011), para descrever a estimativa populacional representada por uma variável quantitativa (discreta ou contínua), deve-se dispor do desvio padrão populacional da variável, selecionar o nível de significância da estimativa e o erro amostral (em unidades da média) máximo tolerado.

Foi estabelecido que o número de amostras de cada modelo seriam 30. Dessa forma, como o sistema foi parametrizado para rodar durante uma semana, cada modelo foi rodado 30 vezes uma semana, obtendo-se os dados desejados.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após rodado cada modelo, os dados foram exportados para o Excel e tabulados para permitir a análise das variáveis chaves para o projeto. Para fins de análise, foram definidas

as seguintes variáveis para serem analisadas:

- Número de Poltronas Prontas
- Utilização dos recursos
- Takt Time do Carrossel

Para fazer a análise estatística dos dados gerados em cada cenário simulado utilizou-se o software estatístico livre R e os passos seguidos para fazer essas análises foram os seguintes:

- Importados os dados de todos os cenários gerados;
- Classificados os dados e separados aqueles que seriam relevantes para a análise;
- Salvado um novo arquivo em Excel com todos os dados selecionados e classificados;
- Feito o teste de normalidade;
- Primeiramente foi feito o teste de análise de variância ANOVA, aplicando-se, no R Console o Shapiro. test;
- Nessa primeira etapa constatou-se que os dados não têm um comportamento de uma distribuição normal;
- Aplicou-se então o teste de Kruskal-Wallis para identificar a igualdade dos cenários comparando-os entre si.

O passo seguinte da análise dos dados foi fazer a comparação de cada indicador por cenário simulado. Neste caso, os indicadores de utilização dos recursos (colunas 2-6 da Figura 6), foram gerados a partir da média da ocupação dos recursos de cada setor.

Os dados gerados a partir desses comandos permitiram iniciar as análises dos resultados obtidos em cada cenário.

Para melhorar a visualização e permitir a comparação de uma mesma variável dentro de cada cenário, foram gerados gráficos de caixa utilizando o comando “boxplot” do R, conforme mostram as Figuras 5 até a 11.

Na Figura 5, percebe-se que os cenários que obtiveram as melhores performances no número de poltronas produzidas foram 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34 e 37. Todos esses cenários obtiveram uma produção acima do limite mínimo estabelecido no item Projeto de Simulação deste trabalho.

Contudo, outros cenários obtiveram produção acima do limite mínimo estipulado para este projeto e devem ser levados em consideração para análise pois podem configurar melhores opções de investimentos quando cruzados com os parâmetros apresentados na Quadro 2. Esses cenários são 4, 7, 10 e 13.

O cenário que apresentou a maior produção foi o 25. Esse cenário também apresentou a maior estabilidade no processo, conforme pode ser analisado na Figura 5.

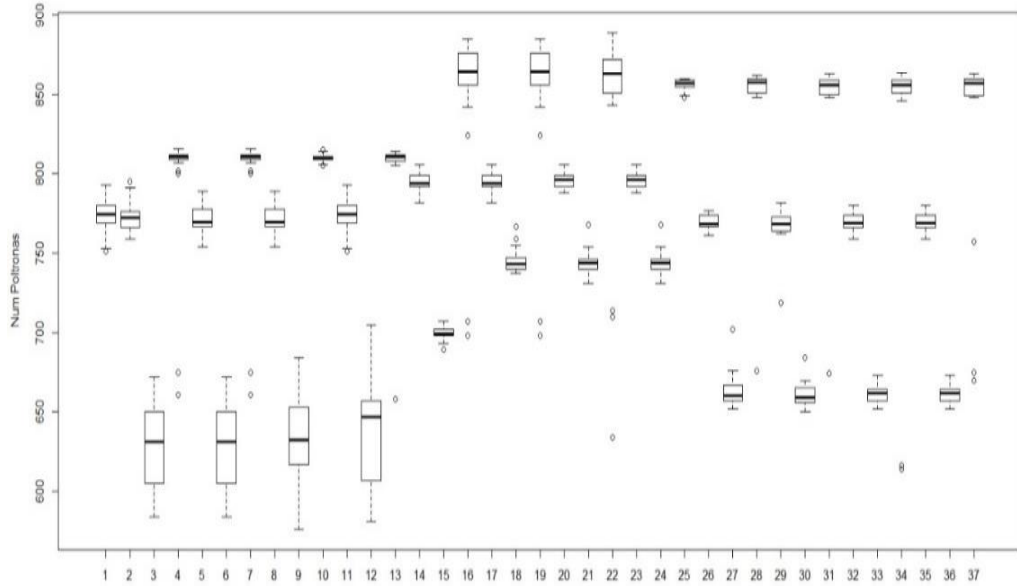


Figura 5. Número de poltronas prontas por cenário
Fonte: Autores, 2021.

A análise dos dados apresentados na Figura 6 demonstram uma ocupação média dos operadores do carrossel abaixo dos 50 %, ou seja, esse não é o recurso que estão restringindo o sistema e há oportunidades de explorar melhor a produtividade desse grupo de operadores.

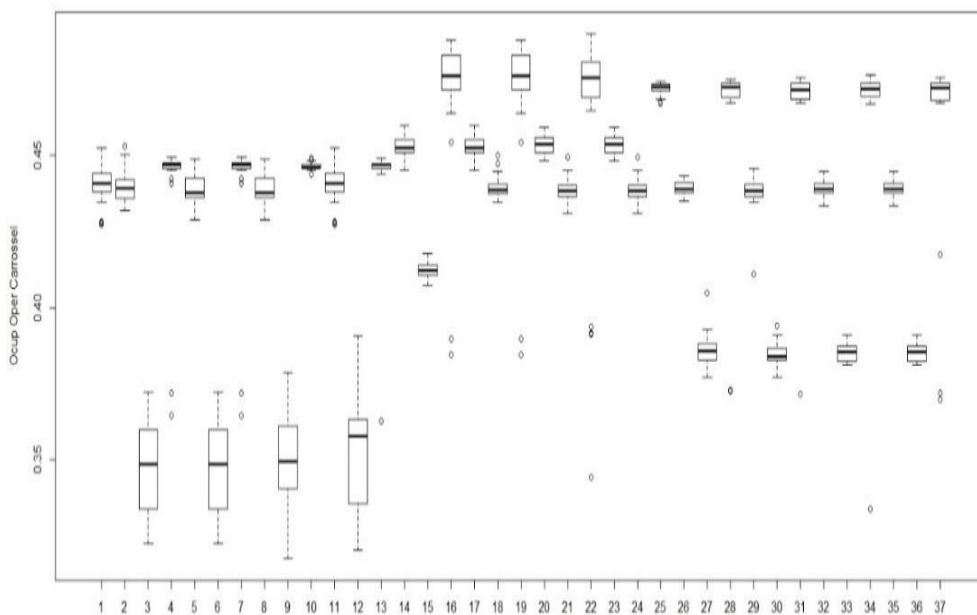


Figura 6. Ocupação dos operadores no carrossel
Fonte: Autores, 2021.

A análise dos dados apresentados na Figura 6 demonstram uma ocupação média dos operadores do carrossel abaixo dos 50 %, ou seja, esse não é o recurso que estão restringindo o sistema e há oportunidades de explorar melhor a produtividade desse grupo de operadores.

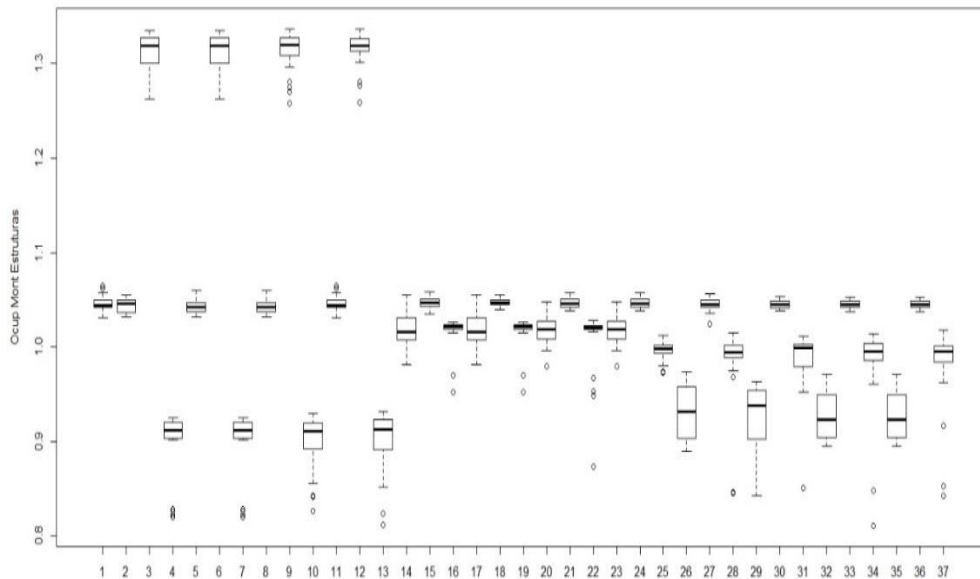


Figura 7. Ocupação dos montadores de estruturas
Fonte: Autores, 2021.

O grupo de recursos composto pelos montadores de estruturas, Figura 7, apresenta-se como uma restrição para o sistema. Nos cenários onde obteve-se as maiores produtividades, os recursos estão com ocupação acima dos 85%, o que é considerado uma ocupação difícil de ser atingida em atividades que dependem exclusivamente de operações manuais, por questões de ritmo e fadiga dos operadores.

Em alguns casos, essa ocupação ultrapassa os 100%, o que significa que o grupo de recursos precisaria atuar em horário extraordinário para atender à demanda.

O Quadro 4, mais adiante neste artigo, demonstra a relação entre o número de poltronas produzidas nesses cenários que obtiveram maiores rendimentos e a ocupação do grupo de recursos de montadores de estruturas em cada um desses cenários.

Essa análise indica que existem possibilidades de redistribuir as atividades de montagem de estruturas, transferindo parte destas para dentro do carrossel ou transferindo operadores do carrossel para a montagem de estruturas e redistribuindo as atividades do carrossel entre os operadores restantes. Porém, antes de se concluir qual a melhor situação é necessário avaliar o comportamento dos demais grupos de recursos dentro de cada cenário.

A ocupação dos estofadores, Figura 8, diferente do que acontece com os montadores

de estruturas, segue um padrão mediano.

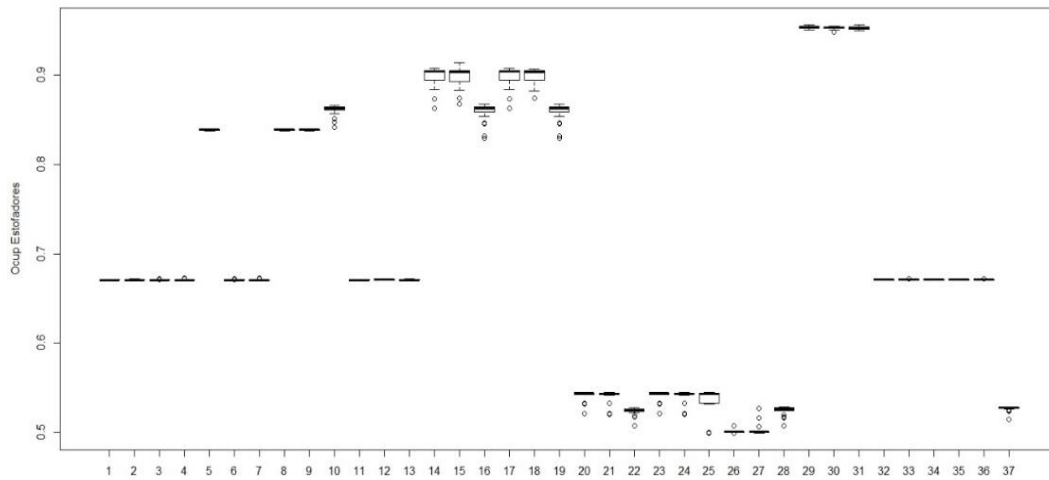


Figura 8. Ocupação dos estofadores

Fonte: Autores, 2021.

Nos cenários de maior produtividade a ocupação se mantém abaixo dos limites de risco para atividades manuais, não representando necessariamente um recurso restritivo para o sistema, conforme mostra o Quadro 3.

Em 5 dos 8 cenários de maior produtividade esse grupo de recursos pode ser explorado aumentando a sua produtividade ou talvez, pode ser simulado uma redução no número de pessoas para avaliar os impactos.

Outro grupo de recursos a ser analisado é o grupo das costureiras, conforme mostra a Figura 9.

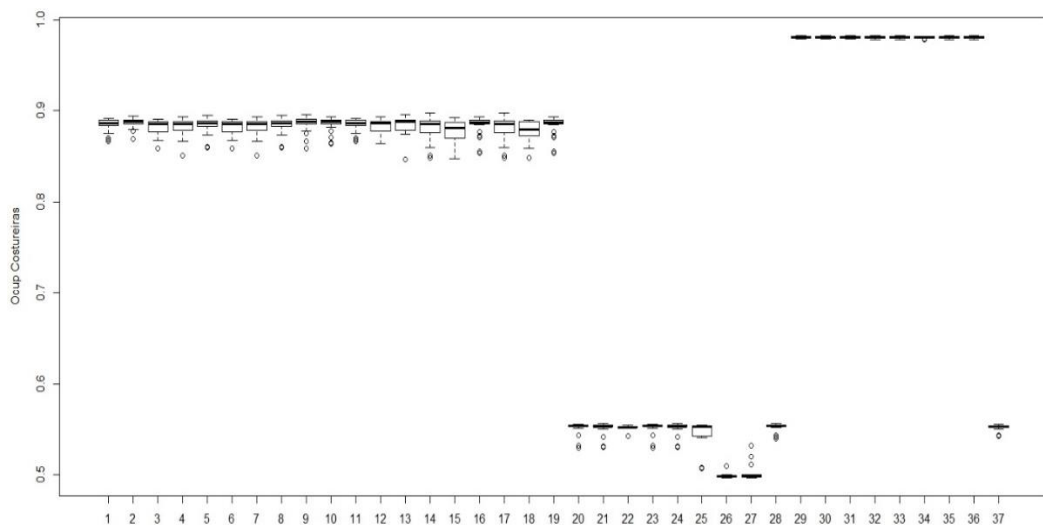


Figura 9. Ocupação das costureiras

Fonte: Autores, 2021.

Na Figura 9 também é possível verificar que a ocupação das costureiras se mantém relativamente estável nos cenários em que todo o efetivo de pessoas desse setor está alocado no turno 1.

A partir do momento que o efetivo de pessoas é distribuído em dois turnos, a ocupação oscila, e o fator principal é a alocação dos recursos nas atividades seguintes que também são alocados em diferentes turnos de trabalho.

No Quadro 2 também é disposta a análise da ocupação do grupo de costureiras frente a cada um dos cenários que obtiveram as maiores produtividades de poltronas.

Existem diferenças significativas na utilização desse grupo de recurso nos diferentes cenários simulados. Essas variações podem impactar diretamente no desempenho final da produção de poltronas esperadas para o projeto.

Para o grupo de recursos de costureiras, também é possível explorar mais configurações para obter melhores resultados. Em 50% dos cenários a média de ocupação está na casa dos 55% e esse valor está aquém do esperado para a atividade.

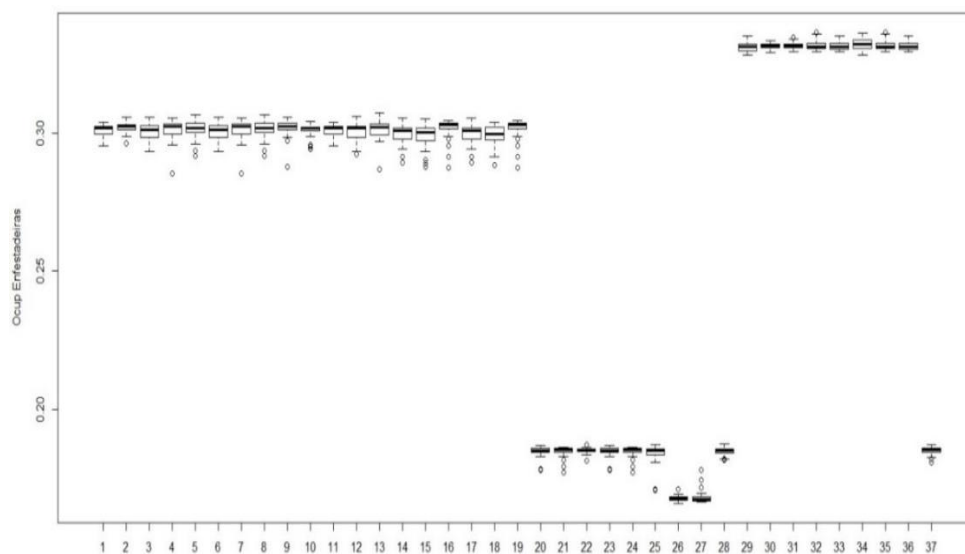


Figura 10. Ocupação das Enfestadeiras
Fonte: Autores, 2021.

Em todos os cenários a ocupação do grupo de recursos de enfestadeiras está abaixo dos 50%, como mostra a Figura 10.

Neste caso é possível explorar a alocação de alguns desses recursos para outros setores que apresentaram demanda maior de trabalho.

Na Figura 11 é possível visualizar que em todos os cenários simulados a utilização dos gabaritos para poltronas no carrossel permanece abaixo dos 100%.

Como se tratam de postos de trabalho, o limite de uso é a ocupação total, por isso há espaço para simular novas alternativas reduzindo o número de gabaritos nos cenários de maior produtividade, conforme mostra o Quadro 4.

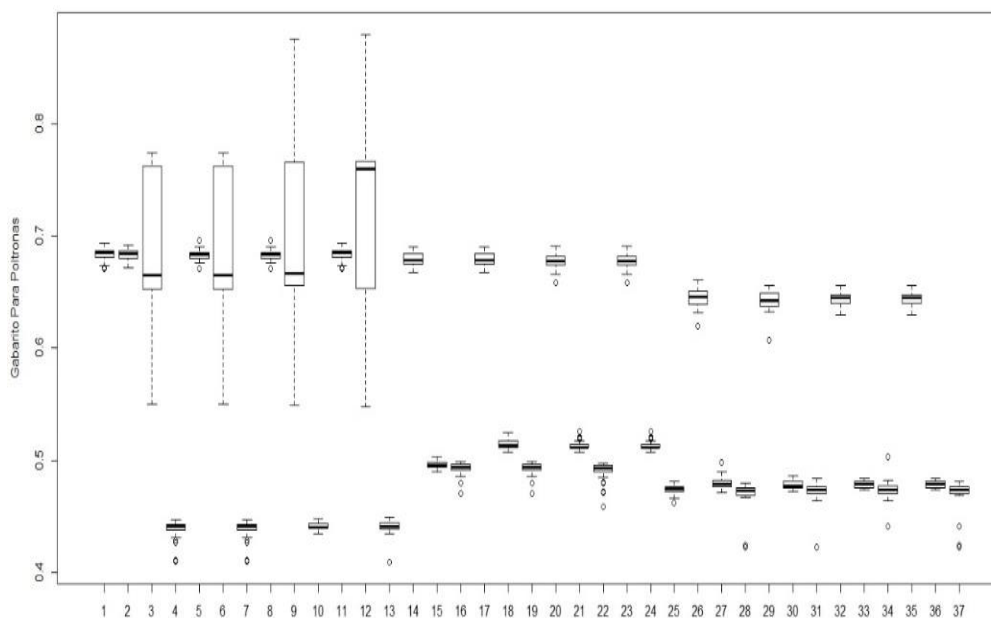


Figura 11. Ocupação dos gabaritos para poltronas no carrossel
Fonte: Autores, 2021.

As alternativas para explorar a redução do número de gabaritos impactarão diretamente no desempenho do projeto quando relacionados os parâmetros elencados na Figura 4.

Neste ponto, uma nova rodada de análises deve ser feita, comparando todos os cenários que obtiveram números de poltronas acima do limite mínimo estipulado pelo projeto.

Além dos valores obtidos a partir das análises de desempenho em cada cenário simulado, é necessário, para a avaliação do projeto, analisar as outras variáveis consideradas como chaves para o bom desempenho da nova fábrica.

Essas variáveis estão ligadas à dois indicadores de desempenho: valor de investimento inicial em construções, máquinas e equipamentos, e custos para a manutenção da operação da nova fábrica, ligados diretamente aos gastos mensais com pessoal.

Quadro 3. Relação de custos totais por cenários em ordem crescente

Cenários	Área Total	Total de salários	Custo total por Cenário
22	352	R\$ 5,060.00	R\$ 273,920.00

*Continua na próxima página

*Continuação página anterior

34	430	R\$ 4,888.00	R\$ 275,288.00
25	430	R\$ 5,252.00	R\$ 283,652.00
31	430	R\$ 5,352.00	R\$ 283,752.00
28	430	R\$ 4,660.00	R\$ 291,060.00
37	430	R\$ 4,760.00	R\$ 291,160.00
16	372	R\$ 5,000.00	R\$ 295,960.00
19	372	R\$ 5,000.00	R\$ 295,960.00
4	510	R\$ 4,500.00	R\$ 338,800.00
7	510	R\$ 4,500.00	R\$ 338,800.00
13	510	R\$ 4,600.00	R\$ 338,900.00
10	510	R\$ 4,700.00	R\$ 347,000.00

Fonte: Autores, 2021.

A partir da perspectiva obtida com as análises do Quadro 1, é possível identificar quais dos cenários podem ser explorados em uma nova rodada de simulação, tentando obter resultados ainda melhores a partir da exploração das restrições identificadas em cada sistema.

Percebe-se que os três cenários de melhor desempenho em termos de investimentos iniciais são os cenários 22, 34 e 25. Desses três cenários, o 22 apresenta os melhores resultados em área construída e custo total. O cenário 34 apresenta o menor custo com salários, o que é um dado significativo pois impactará diretamente no desempenho econômico da operação após a fábrica implantada, diferente dos demais itens que terão uma amortização constante. Já o cenário 25 obteve a terceira colocação, desempenhando melhor apenas no número de poltronas produzidas.

Quadro 4. Comparação dos parâmetros de ocupação dos recursos por cenário

CENARIO	NUM POLTRONAS	% OCUP MONT ESTRUTURAS	% OCUP ESTOFADORES	% OCUP COSTUREIRAS	% OCUP GABARITOS
16	854	102%	86%	88%	49%
19	854	102%	86%	88%	49%
22	842	101%	52%	55%	49%
25	856	100%	54%	55%	47%
28	844	99%	52%	55%	47%
31	848	99%	95%	98%	47%
34	840	98%	67%	98%	47%
37	840	98%	53%	55%	47%

Fonte: Autores, 2021

Para este trabalho, a conclusão é que qualquer um dos três cenários pode ser utilizado para o projeto da nova fábrica e esse resultado atende ao objetivo desta pesquisa.

Porém, percebe-se que ainda é possível explorar novas configurações de cenários. Para isso podem ser testadas alternativas de aumentar as capacidades dos seus gargalos e reduzir as quantidades dos recursos com maior índice de ociosidade, conforme mostra o Quadro 2.

A sequência do trabalho consistiria em apresentar as novas configurações dos cenários 22, 34 e 25 para que sejam novamente simulados.

CONCLUSÃO

A proposta deste trabalho foi utilizar a simulação para avaliar possíveis cenários de um projeto de implantação de uma nova fábrica de componentes para a indústria automotiva. Para melhorar o desenvolvimento da pesquisa e apresentar modelos computacionais relevantes, adotou-se a metodologia de estudo de caso em uma indústria automotiva.

Todos os passos para o planejamento dos cenários, coleta dos dados, construção do modelo base, verificação e validação do modelo base, construção dos cenários alternativos, geração dos relatórios, testes dos dados e análise dos dados, são relatados com clareza e seguem as metodologias recomendadas para um projeto de simulação.

Cada um dos cenários alternativos passou por um processo de configuração das principais variáveis, no Arena. Os dados obtidos a partir dessas análises demonstraram as diferenças de um cenário para outro.

Os dados obtidos em cada cenário demonstraram que o uso da simulação é essencial para se poder diferenciar as principais variáveis de desempenho. Essas diferenças não seriam avaliadas no método original, sem o uso da simulação.

Mudando algumas configurações de distribuição de tarefas e recursos de um cenário para outro, a partir do cenário base, foi possível obter três cenários com desempenho de até 25% superior ao cenário base. Isso permitiu avaliar as melhores propostas atendendo às premissas básicas esperadas para o projeto da nova fábrica simulada.

Foi possível ainda identificar novas oportunidades de exploração de novas configurações que potencialmente melhorariam o desempenho dos três cenários que tiveram os melhores resultados na primeira rodada de simulação.

Contudo, sugerimos novas pesquisas de forma que possam inclusive utilizar este

trabalho como modelo para essas novas simulações.

Por fim, cabe ressaltar que este trabalho atingiu seus objetivos, demonstrando, através de um estudo de caso, que o uso da simulação para avaliação de cenários para projetos de novas fábricas é eficiente e pode proporcionar ganho significativos no desempenho do projeto, além de economias de tempo e dinheiro na implantação.

REFERÊNCIAS

BANKS, J. **Principles of simulation**. In: Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications and practice. Nova York: John Wiley & Sons, 1998.

CANTELMO, Narjara Fonseca; FERREIRA, Daniel Furtado. Desempenho de testes de normalidade multivariados avaliado por simulação Monte Carlo. **Ciência e Agrotecnologia**, [s. l.], v. 31, n. 6, p. 1630-1636, dez. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/KWgjCPYHgVxVCStqB8JBHTD/abstract/?lang=pt> Acesso em: 05 maio 2021

DUARTE, R.N. **Simulação computacional: análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003. Disponível em: <http://docplayer.com.br/39849387-Simulacao-computacional-analise-de-uma-celula-de-manufatura-em-lotes-do-setor-de-auto-peças.html> Acesso em: 11 maio 2021

GOLDRATT, Eliyahu M. **A Meta**: um processo de melhoria contínua. São Paulo: Nobel, 1997.

HARRELL, Charles R.; GHOSH, Biman K.; BOWDEN, Royce. **Simulation using ProModel**. Boston: McGraw-Hill, 2000

LAW, A. M.; Kelton, W. D. **Simulation modeling and analysis**. New York: McGraw-Hill, 1982.

LAW, A.M.; KELTON, W.D. **Simulation modeling and analysis**. 3. ed. Nova York: McGraw Hill, 2000.

MIOT, Hélio Amante. Tamanho da amostra em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, [s. l.], v.10, n. 4, p. 257-278, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jvb/a/Dxg84WBMPnNrVcpKMXyVfHd/?lang=pt> Acesso em: 01 jun. 2021

OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PEGDEN, C.D.; SHANNON, R.E.; SADOWSKI, R.P. **Introduction to simulation Using SIMAN**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1995.

SCHRIBER, Thomas J. **"Introduction to simulation."** *Proceedings of the 9th*

conference on Winter simulation, [s. l.], v.1. Winter Simulation Conference, 1977.
Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/book/10.5555/98099> Acesso em: 20 maio 2021

TE XU, Dong Hee Moon and Seung Geun Baek, **A simulation study integrated with analytic hierarchy process (AHP) in an automotive manufacturing**. [s. l.], *SIMULATION* 2012. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-simulation-study-integrated-with-analytic-process-Xu-Moon/af1473ac1e7d387d2a366e88915e061840844cb8> Acesso em: 09 maio 2021