

O USO DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS PARA OTIMIZAÇÃO DO FLUXO DE REBOCADORES EM UM ARMAZÉM¹

Bianca Silva Dias – bidias0996@gmail.com

Karen Novaes da Costa – novaes_karen@hotmail.com

Mariana España Feitosa – mariihespana@hotmail.com

Nathália Kimie Taketa de Paula – nathalia.taketa@hotmail.com

Prof(a). Dr(a). Silmara Alexandra da Silva Vicente (Orientador) – silalevicente@gmail.com

RESUMO

As empresas de diferentes setores têm voltado seus interesses para melhoria contínua e eliminação de desperdícios buscando vantagens competitivas. Baseado nisso, neste trabalho foi realizado um estudo da melhoria do fluxo de rebocadores de uma montadora de caminhões com o auxílio da simulação de eventos discretos. Nesta pesquisa relacionou-se conceitos de melhoria contínua ao método de trabalho utilizado pela empresa buscando identificar características que influenciam no processo de transporte de materiais no armazém, sendo o armazém a área onde é feita a coleta das peças que são encaminhadas para a linha de montagem. Para a simulação foi utilizado o software *Plant Simulation* para modelagem da ferramenta de simulação e foi considerado o layout do armazém, os tempos de produção da fábrica, de separação das peças e de transporte, a roteirização dos rebocadores e a configuração dos comboios que os rebocadores conduzem, todos cedidos pela empresa. Como resultado foi desenvolvido um modelo de simulação do processo estudado com a finalidade de verificar se determinadas características mapeadas através de um diagrama de Ishikawa exercem influência sobre o sistema de transporte.

Palavras-chave: Simulação. Logística. Transporte. Mapeamento de fluxo. Simulação de eventos discretos.

¹ Artigo do Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia de Produção, EE, UPM, São Paulo, 2019.

THE USE OF DISCRETE EVENT SIMULATION TO TURN FLOW OPTIMIZATION IN A WAREHOUSE

ABSTRACT / RESUMO (EM OUTRO IDIOMA - INGLÊS OU PORTUGUÊS)

Many companies, in different segments, have turned their eyes to continuous improvement and waste time elimination looking for competitive advantage. Based on this, this work dealt tugging flow optimization in a truck manufacturer using discrete event simulation. The work related continuous improvement concepts to the work method used by the company seeking to identify characteristics that influence on material transport process on logistic platform, area where parts are separated before be sent to the main line. For simulation, was used the software “Plant Simulation” to model simulation and the logistic platform layout, takt time, parts separation time, transport time, tuggers routing and train configuration, all provided by the company. As a result it was developed the process simulation model to verify some characteristics mapped through an Ishikawa diagram and to test their influence in transport system.

Keywords: Simulation. Logistics. Transport. Flow mapping. Simulation of discrete events.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por variedade de produtos no ramo automobilístico é um grande desafio para a indústria, já que para manter espaço no mercado é necessário atender essa demanda, ou seja, disponibilizar os diferentes modelos, mas mantendo a redução nos custos produtivos (CHRISTMANSSON et al., 2002). Nesta busca por processos produtivos e logísticos eficientes utiliza-se a aplicação da metodologia Lean, que visa ampliar as atividades da empresa em meio ao cenário do mercado e angariar seu potencial competitivo ao otimizar o sistema, através da redução de desperdícios e melhor utilização de recursos. No meio logístico, por exemplo, é utilizada a técnica de comboio logístico, que segundo Teixeira (2011), é uma estratégia fundamental na otimização de fluxos, tema que se refere ao abastecimento da linha de produção e que permeia este estudo.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de simulação, para representar o fluxo de transporte em um armazém, e identificar oportunidades de melhoria no sistema. Um dos desafios da logística interna é ser capaz de transportar materiais sem interrupção, no menor percurso possível, de forma a atender a demanda, sem ocorrência de avarias e evitando o acúmulo de estoque intermediário (OHNO, 1997).

O fluxo de rebocadores no armazém foi estudado através da simulação de eventos discretos, método que possibilita a avaliação de processos por meio da representação do sistema, sem interferir, portanto, no sistema real (XAVIER et al., 2010), podendo ser empregada em diversas áreas, entre elas sistemas logísticos, auxiliando no processo de tomada de decisão. (SAKURADA; MIYTAKE, 2009 apud GENNARO et al., 2016).

A simulação representará o processo de transporte que acontece na plataforma logística (armazém), retratando a movimentação dos comboios logísticos guiados por carros rebocadores e o processo de troca de carrinhos vazios por cheios, considerando suas entradas e saídas, rotas estabelecidas e pontos de parada.

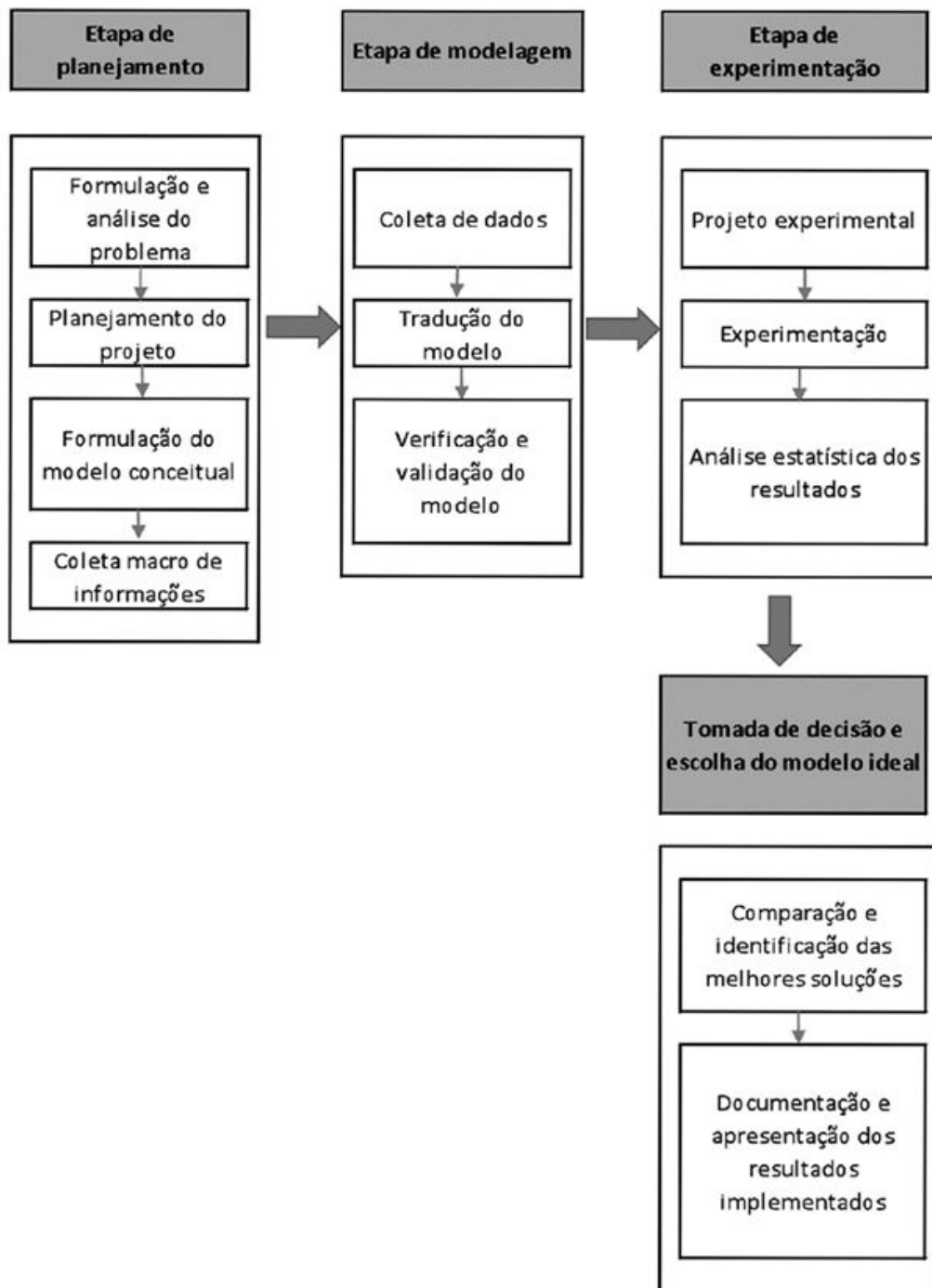
Para contextualização e compreensão do tema, esse estudo apresenta a definição de alguns termos que regem a logística interna de abastecimento no cenário estudado, como: armazém, fluxo de materiais, linhas multiproduto e picking, além de introduzir também conceitos de simulação e sua aplicabilidade na avaliação e posterior melhoria de processos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de pesquisa utilizada para este estudo é a modelagem e simulação, de Freitas Filho (2008), que se divide em quatro etapas: Etapa de Planejamento, Etapa de Modelagem, Etapa de Experimentação e Tomada de Decisão e escolha do modelo ideal.

A figura 1 a seguir apresenta os passos em sequência para a formulação de um estudo com modelagem e simulação.

Figura 1 – Etapas para a formulação de um estudo com modelagem e simulação



Fonte: Freitas Filho (2008)

A Etapa de Planejamento consiste na formulação e análise do problema, planejamento do projeto, formulação do modelo conceitual e coleta macro de informações. Para a formulação do modelo conceitual, foi utilizado um fluxograma. A coleta macro de informações foi feita a partir da observação do sistema e de arquivos históricos da empresa estudada.

A Etapa de Modelagem se refere à coleta de dados, tradução do modelo e a verificação e validação do modelo. A coleta de dados necessária para o estudo foi solicitada aos gestores e especialistas que trabalham na logística da empresa e organizada em planilhas de Excel para a realização de análises. O modelo foi desenvolvido utilizando o software computacional Plant Simulation e a validação do modelo foi feita observando a relação entre o volume de produção real e simulado para uma amostra cedida pela empresa. Foram utilizados indicadores como a produtividade e a quantidade de ciclos realizados diariamente para comparar o modelo de simulação computacional ao sistema real. Uma vez comprovada a consistência do modelo este deve servir como ferramenta para experimentação da empresa.

A Etapa de Experimentação se refere à consolidação do projeto experimental, a experimentação e a análise dos resultados, a fim de identificar quais das características do sistema mapeadas previamente influenciam no fluxo interno do armazém. Este mapeamento prévio foi realizado por três especialistas do processo logístico analisado através de um diagrama de Ishikawa e orientou a consolidação do projeto experimental. As fases de experimentação e análise dos resultados não foi abordada neste estudo uma vez que seu objetivo era apenas disponibilizar a empresa a ferramenta de simulação e orientar a experimentação.

A Etapa de Decisão e escolha do modelo ideal consiste em comparar e identificar as melhores soluções dentre as testadas, documentar e apresentar os resultados implementados. Esta etapa também não foi considerada neste estudo e deve ser realizada após a etapa de experimentação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 LOGÍSTICA

Segundo Pozo (2016) “a logística é o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, a movimentação e a armazenagem de materiais, peças e produtos acabados e, também, seus fluxos de informações através da organização e seus canais, de modo a poder maximizar as lucratividades presente e futura mediante atendimento dos pedidos a baixo custo e a plena satisfação do cliente”.

Silva (2015) divide as atividades logísticas em três grandes grupos: produção, armazenagem e transporte.

3.1.1 Logística Interna de Abastecimento

Para Battini et al. (2015) os processos elementares da logística interna de abastecimento são armazenagem, transporte, do armazém para a linha, e entrega na borda de linha, sendo a borda de linha o local onde os materiais são disponibilizados ao longo da linha de fabricação (SILVA, 2015). Segundo Coimbra (2009) a borda de linha funciona como uma interface entre os processos da logística e os processos da produção.

O abastecimento logístico deve funcionar baseado na programação de produção, sendo a área responsável por providenciar, no momento correto, o material necessário para o processo de montagem nas devidas quantidades (RODRIGUES, 2016).

3.1.1.1 Armazém

O armazém é o local na empresa designado ao acondicionamento de bens e materiais (BERG; ZIJIM, 1999). O armazém pode ser destinado à estocagem ou armazenagem, no primeiro caso trata-se da guarda de materiais que serão encaminhados às operações de manufatura, e no segundo da guarda de produtos acabados (MOURA, 2002).

O abastecimento por kits é um método pelo qual os separadores são responsáveis por montar os kits no armazém, onde estão dispostas as peças de montagem inserindo no recipiente destinado a esse fim, os itens necessários para serem encaminhados pelos operadores de transporte à linha de produção. Esse processo de montagem de um kit é também conhecido como picking. Um benefício desse método é a redução do tempo de deslocamento do operador da linha, já que este não precisa ir a um local de abastecimento intermediário procurar peças, pegá-las e retornar ao seu posto de trabalho para usá-las, uma vez que todas as peças necessárias para execução do processo já foram dispostas na borda de linha em forma de kit (VUJOSEVIC et al., 2012).

3.1.1.2 Fluxo de Materiais

Silva (2015) afirma que o fluxo de materiais é responsável por todo o transporte necessário entre os elos da cadeia produtiva e seu objetivo, segundo Baldesin et al. (2014), é transportar e estocar os materiais ao longo do processo produtivo, e disponibilizá-los nos devidos destinos, evitando congestionamentos, atrasos e manuseios desnecessários.

“O mizusumashi refere-se a um operador de abastecimento interno cuja função é fornecer materiais aos diversos postos de trabalho”. (RODRIGUES, 2011).

Os movimentos logísticos realizados pelo mizusumashi estabelecem a ligação entre os locais de parada de materiais durante o processo produtivo, desde os supermercados de picking, bordos de linha e armazéns.

Segundo Rodrigues (2011), uma das vantagens do mizusumashi que utiliza um veículo guiado manualmente é a sua flexibilidade, uma vez que possibilita a mudança de rota ou uma alteração física da fábrica. Esse veículo guiado pelo mizusumashi é chamado comboio logístico e é utilizado através do engate de diversos “vagões” para transportar os materiais para mais de um posto.

3.2 LINHA DE MONTAGEM MULTIPRODUTO

Boysen et al. (2015) afirma que a fim de atender a variedade de produtos desejadas pelos clientes, os fornecedores precisam lidar com uma produção diversificada, para isso existem as chamadas linha de montagem de modelo misto (MMAL) ou linha de montagem multiproduto, que são linhas de produção capazes de permitir a produção de produtos diversificados (RODRIGUES, 2016).

Este modelo de linha apresenta vantagens como maior flexibilidade e melhores taxas de utilização de peças, por sua vez revela problemas como dificuldade de balanceamento da linha e complexidade no sequenciamento de produtos (DING E CHENG, 1993)

3.3 METODOLOGIA LEAN

Com as consequências geradas pela segunda guerra mundial a indústria japonesa estudou e desenvolveu um conjunto de práticas de manufatura a fim de impulsionar o mercado japonês no cenário global, esse conjunto de práticas é conhecido como produção enxuta (WOMACK, JONES e ROOS, 2004).

O foco da produção enxuta é alcançar um fluxo de materiais, informações ou clientes que ofereça produtos na qualidade perfeita, em quantidades exatas, no tempo e local correto e com o menor custo possível. (Slack, 2002). A expressão “enxuta” é também conhecida como Lean e consiste numa filosofia associada à sistemas eficientes, flexíveis, ágeis e focados na eliminação dos desperdícios, ou seja, de tudo aquilo que não agrega valor ao produto e que impede melhorias incrementais nos processos. (WOMACK , JONES e ROSS, 2004).

Dentre os desperdícios do *Lean* destacam-se espera, estoque, transporte e movimentação como desperdícios relacionados às atividades logísticas, que prejudicam a continuidade do fluxo de materiais e informações (BOWERSOX et al., 1999).

3.3.1 Logística *Lean*

A Logística *Lean* consiste, então, em flexibilização dos processos, maximização do fluxo de valor, redução de perdas, estoques e tempos de entrega, e aumento do nível de serviço ao cliente com mínimo impacto nos custos (BASTOS et al., 2017).

Segundo Nishida, para se obter uma logística *Lean* é necessário reduzir o tamanho do lote, aumentar a frequência de espera e nivelar o fluxo de entregas. Ou seja, trata-se de “implementar um sistema puxado com reposição nivelada e frequente em pequenos lotes ao longo do fluxo de valor da cadeia de suprimentos para trabalhar da forma mais sincronizada possível de acordo com o consumo real”. (Rodríguez, 2012)

Segundo Harris et al. (2004) as etapas para implementação de um sistema *Lean* de movimentação consiste em: desenvolver um plano e banco de dados para cada peça; criar um único mercado de peças compradas; planejar rotas de entregas precisas para movimentação dos materiais e realizar movimentação dos materiais de forma puxada.

3.4 DESPERDÍCIOS

3.4.1 Movimentação

Os desperdícios de movimento estão presentes em toda a fábrica, e a economia desses movimentos aumenta a produtividade e reduz os tempos de processo. A filosofia JIT adota metodologias que visam a diminuição desse desperdício. (CORRÊA,1992)

3.4.2 Espera

Segundo CORRÊA (1992) o desperdício de espera refere-se ao material esperando para ser processado, formando filas. A filosofia JIT coloca a ênfase no fluxo de materiais e não nas taxas de utilização dos equipamentos, os quais somente devem trabalhar se houver necessidade. A sincronização do fluxo de trabalho e o balanceamento das linhas de produção contribuem para a eliminação deste tipo de desperdício.

3.5 SIMULAÇÃO

Segundo Mororó (2008) a simulação é definida como o processo de construir um modelo que representa o sistema real, e de experimentos com este modelo com o objetivo de projetar o comportamento do sistema e avaliar estratégias para operar o sistema.

Uma grande vantagem da simulação é a possibilidade de analisar antecipadamente resultados que apoiem uma tomada de decisão (GENNARO et al., 2016). E suas aplicações buscam: descrever o comportamento de um sistema, construir teorias e hipóteses considerando eventuais observações e prever efeitos produzidos por alterações no sistema ou métodos (Freitas Filho, 2008).

Para Law e Kelton (1991), a simulação de eventos discretos se refere à modelagem de um sistema à medida que ele evolui ao longo do tempo, ou seja, as suas variáveis de estado mudam conforme a ocorrência de eventos.

4. RESULTADOS

4.1 FORMULAÇÃO E ANÁLISE DO PROBLEMA

Na fábrica de cabinas, utiliza-se um armazém para a separação das peças que compõem os kits que abastecem a linha de montagem da fábrica. A estratégia utilizada pela logística é abastecer a fábrica por zonas de abastecimento, através de comboios logísticos, que possuem roteirização definida para os sete comboios responsáveis pelo abastecimento da linha de montagem.

O armazém possui 32 prateleiras porta paletes abastecidas com as peças necessárias para montagem dos kits. As 32 prateleiras formam oito corredores de *picking*, onde é feita a montagem dos kits a serem enviados para a fábrica de montagem de cabinas.

Os comboios são caracterizados por uma sequência de carrinhos engatados e guiados por um carro rebocador. A sequência de carrinhos de cada comboio é definida conforme a zona de abastecimento e cada carrinho contém determinada quantidade de kits que abastecem a respectiva zona. Deste modo, cada comboio possui uma quantidade de carrinhos e kits conforme a quantidade de pontos de abastecimento contemplados na respectiva zona de abastecimento. Cada comboio deve respeitar o limite de 20 metros conforme especificado pelo regulamento da empresa estudada para o modelo de carrinhos utilizados.

A configuração atual do fluxo interno de abastecimento tem como recursos sete carros rebocadores e sete operadores que os conduzem, atuando um para cada zona de abastecimento determinada pela empresa. Cada rebocador tem a função de levar o respectivo comboio para a fábrica e abastecer a borda de linha, ou seja, recolher os recipientes vazios e deixar os novos recipientes cheios no lugar e retornar para o armazém com o comboio formado pelos recipientes vazios. Esse processo é entendido como o ciclo do rebocador.

Os kits que pertencem à mesma zona estão dispostos próximos um aos outros nas prateleiras e corredores para simplificar a rota do rebocador, de forma que haja o menor número possível de

locais para descarregamento de comboio vazio e carregamento do comboio cheio. No entanto, o fluxo interno no armazém é intenso devido à alta circulação de comboios no mesmo e o processo apresenta perdas em produtividade devido ao desperdício causado pelo tempo de espera dos rebocadores.

A espera é um dos 8 desperdícios do Lean, conforme explicado anteriormente. De acordo com Corrêa (1992) a espera refere-se ao material aguardando para ser processado, formando filas que garantem elevadas taxas de utilização dos equipamentos. No contexto deste estudo, a espera poderá ser encontrada em situações nas quais o rebocador não consegue movimentar o seu comboio devido a um obstáculo o impedindo de seguir viagem em sua rota.

4.2 MODELAGEM

Para compreensão do funcionamento do sistema foi construído um fluxograma que orientou a formulação do modelo conceitual, ou seja, destacando como o modelo real funciona e como então este deveria ser simulado, após a formulação do modelo conceitual coletou-se os dados a serem empregados na simulação seguindo a estratégia de observação do sistema e coleta de arquivos históricos cedidos pela empresa.

O cenário do armazém da fábrica de cabinas foi então modelado utilizando o software Plant Simulation.

Para desenvolver o modelo considerando as dimensões reais do sistema, utilizou-se uma imagem da planta do armazém no Plant Simulation como plano de fundo. Desta forma, as dimensões do armazém e de seus corredores internos puderam ser consideradas e preservadas no software.

A montagem dos kits é representada no sistema por um conjunto de operações que, trabalhando juntas, estimam o período de montagem do sistema real. Neste estudo, para compreender melhor o funcionamento do sistema, foi incluída uma operação para cada kit existente dentro do armazém, ou seja, um total de 64 operações individuais representando cada um dos 64 kits que são montados no armazém.

Os caminhos que são percorridos pelos comboios são diferentes conforme sua zona de abastecimento. As ruas foram criadas conforme a necessidade da simulação, levando em consideração a porta de entrada, o caminho percorrido dentro do armazém e a porta de saída de cada rebocador.

Os comboios podem sofrer paradas ao encontrar obstáculos enquanto percorrem o armazém. No Plant Simulation, as paradas são facilmente percebidas, pois todos os comboios, com exceção do comboio da zona 4, percorrem a mesma via. Para representar essas paradas, algumas restrições foram determinadas, tais como:

1. O comboio vazio deve esperar no corredor, até que o comboio que está sendo montado seja finalizado, e somente após a finalização da montagem do comboio, e, o rebocador ser autorizado a levar o comboio cheio para o abastecimento da linha, é que os carrinhos vazios podem entrar em suas respectivas operações para que iniciem suas montagens.
2. O rebocador deve esperar que o comboio seja totalmente montado para fazer o transporte para o abastecimento da linha.

Neste processo, o rebocador precisa descarregar os carrinhos vazios no corredor próximo à sua respectiva linha, se locomover até o local de coleta de comboio e esperar até que todos os carrinhos que são transportados naquele comboio estejam prontos, ou seja, com a operação de montagem finalizada. A espera nessa situação está relacionada ao tempo em que os carrinhos vazios esperam para iniciar suas operações de montagem enquanto a montagem dos kits nos carrinhos que já estão em operação é finalizada e ao tempo que o rebocador tem que aguardar para iniciar seu novo ciclo, pois depende que todos os carrinhos que ele deve levar estejam prontos para serem transportados até a linha de montagem.

Também foram desprezadas algumas situações comuns no sistema real por restrição de dados ou por apresentarem alta complexidade de representação, estas foram:

1. O fluxo de empilhadeiras presente no local.
2. O tempo de espera que a zona 4 implica sobre a zona 5 quando há comboio vazio da zona 4 aguardando na via e a zona 5 está pronta para sair.
3. O tempo gasto no processo de posicionamento do comboio vazio nos locais de montagem de kits após a saída do comboio cheio para abastecimento da linha.
4. Foi considerado montagem de 4 kits por carrinhos para todos os carrinhos do sistema.

A velocidade dos carrinhos em circulação, o tempo de montagem dos comboios e o tempo gasto no abastecimento na linha de montagem foram inseridos no sistema.

4.3 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

A validação do sistema foi feita com base em dados de produtividade. A produtividade, neste sistema, é representada em função da quantidade de comboios por zona que saem do armazém

em direção à fábrica de cabinas. O sistema apresenta uma proporção de 4 para 1, ou seja, a cada comboio montado que é levado para a linha de abastecimento, considera-se a produtividade total de 4 cabinas de caminhão, pois cada carrinho no sistema é montado com material suficiente para suprir a produção de 4 cabinas. Assim, coletou-se os dados de produtividade referente ao mês de março de 2019 da empresa para o primeiro turno de produção, testou-se a normalidade dos dados e verificou-se a validade do modelo através da comparação da produtividade real do mês de março cedida pela empresa com a produtividade simulada nas condições do mesmo período.

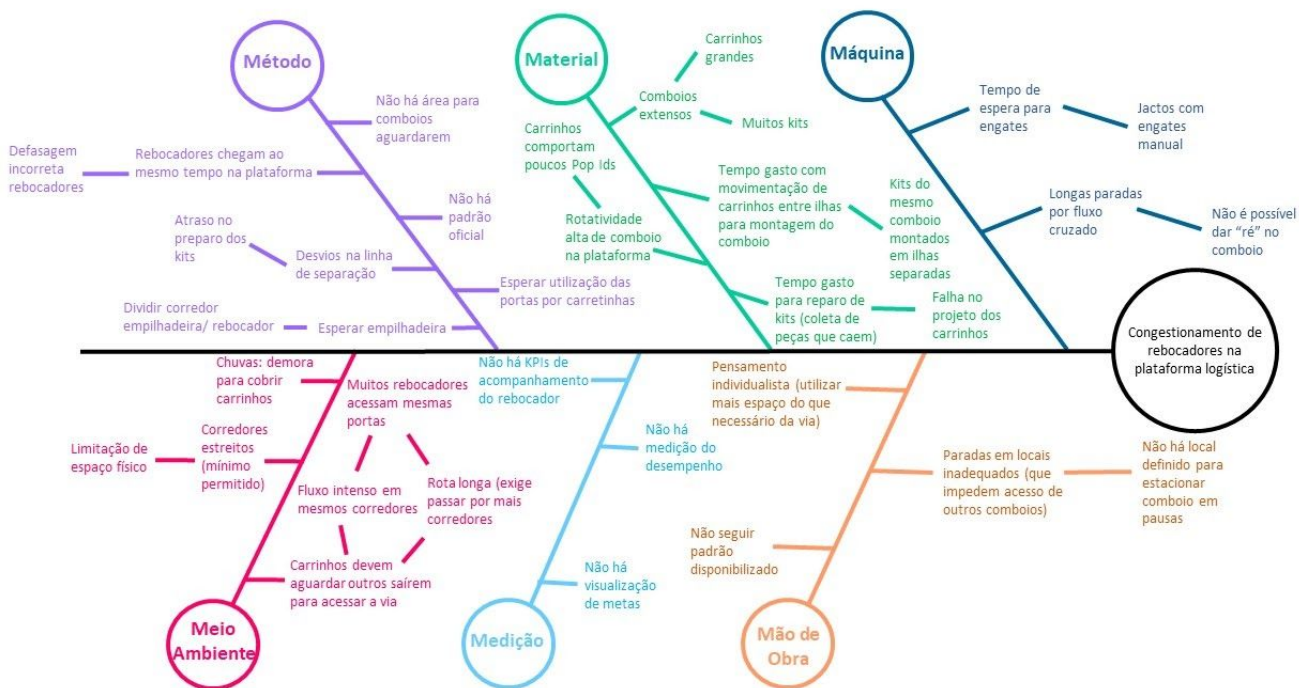
Foi definido como parâmetro de aceitação do sistema um limite de até 10% de diferença entre a produção simulada e real, ou seja, a produção total dos dias simulados deveria representar entre 90% e 110% da produção real para o sistema simulado ser aceito. Como a produção simulada representou 104% da produção total real, com diferença de 4% entre ambas, valor menor que 10%, o sistema simulado foi considerado válido para representação do sistema real.

4.3 PROJETO EXPERIMENTAL

Na etapa de experimentação este trabalho abordou apenas a fase de projeto experimental proposta por Freitas Filho (2008), que consiste em planejar como a experimentação deve ser feita.

Foi construído um diagrama de causa e efeito por colaboradores da empresa para mapear as possíveis causas que influenciavam nos desperdícios encontrados no processo de transporte de material que limitavam o desempenho da operação, assim, baseado no conhecimento e experiência dos especialistas envolvidos foi levantada uma série de possíveis causas para o problema de desperdícios no processo. O Ishikawa elaborado está ilustrado a seguir na Figura 2.

Figura 2 - Ishikawa



Fonte: Autoria própria (2019)

O modelo de simulação desenvolvido deveria funcionar como ferramenta para a verificação da relação causa-efeito para as possíveis causas mapeadas, ou seja, as possíveis causas levantadas deveriam ser testadas através da simulação para verificação da influência ou não influência dessas causas sobre o efeito observado.

Com a ferramenta de simulação e o diagrama de Ishikawa em mãos, foram, por fim, separadas as causas possíveis de serem verificadas que representavam a mesma situação ou que poderiam ser testadas da mesma forma no modelo e definidas as estratégias a serem utilizadas para representar as situações na ferramenta de verificação desenvolvida, resultando no Quadro 1, a seguir.

Quadro 1 – Causas e estratégias para verificação no sistema

Causas Mapeadas			Estratégia para verificação no sistema
Defasagem incorreta entre rebocadores	Rebocadores chegam ao mesmo tempo na plataforma		Testar diferentes intervalos entre a entrada inicial dos rebocadores priorizando o maior espaço de tempo entre os comboios que devem acessar corredores próximos na plataforma
Paradas em locais inadequados que impedem passagem de outros comboios	Não há área destinada à parada de comboios	Não há área para os comboios esparem	Criar uma região onde os comboios sejam direcionados em caso de atraso na montagem de kits ou chegada adiantada na plataforma e após a finalização da espera serem encaminhados novamente a sua posição correta
Atraso no preparo dos kits	Desvios nas linhas de separação		Alterar o limite máximo de tempo de operação nas montagens de kits críticos na distribuição em que estes eventos ocorrem
Corredores estreitos			Alterar dimensão dos corredores / testar via dupla
Concentração de comboios utilizando mesmas portas			Alterar rotas dos rebocadores redistribuindo a utilização dos mesmo entre os corredores
Concentração de comboios utilizando mesmos corredores			Alterar rotas dos rebocadores redistribuindo a utilização dos mesmo entre as portas
Carrinhos comportam poucos Pop Ids			Alterar o tempo das operações de transporte de acordo com o número de kits viável à incrementação
Carrinhos são grandes	Comboios extensos		Alterar dimensões dos carrinhos
Kits de mesmo comboio montados em corredores diferentes			Alterar posições das operações que representam as montagens dos kits determinados para os corredores respectivos

Fonte: Autoria própria (2019)

5 DISCUSSÃO

Buscando entender quais características influenciam na diminuição do tempo produtivo no processo de transporte de materiais no armazém estudado, foi desenvolvido um modelo de simulação representando o sistema observado para funcionar como ferramenta de teste de cenários, permitindo a alteração de características para verificação da influência das mesmas sob o sistema.

O estudo foi desenvolvido seguindo a metodologia de modelagem e simulação em uma abordagem empírica quantitativa, que busca solucionar um problema por meio da modelagem de um sistema real em um sistema computacional e analisar comportamentos baseados em dados quantitativos.

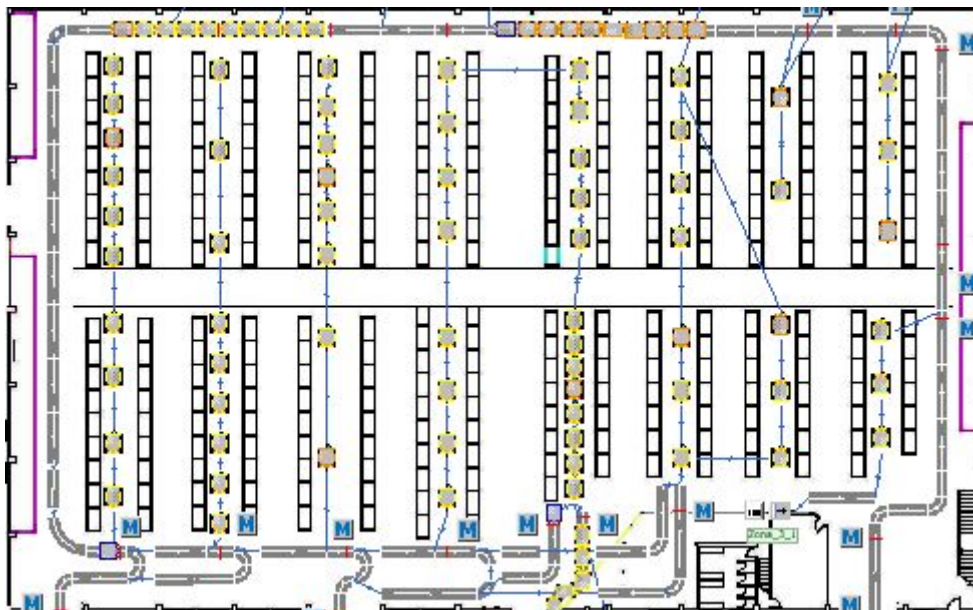
A ferramenta foi desenvolvida seguindo duas das quatro etapas propostas por Freitas Filho (2008): Etapa de Planejamento, Etapa de Modelagem, Etapa de Experimentação e Tomada de Decisão e escolha do modelo ideal.

Na etapa de planejamento foi feita a análise do problema estudado e formuladas as especificações do modelo, através da descrição do sistema e levantamento das características que este possui.

Na etapa de modelagem foi feita a coleta dos dados necessários para alimentar o modelo computacional, a delimitação de premissas e restrições que o sistema apresentaria e foram levantadas as regras lógicas para a preservação do sistema representado em relação ao sistema real, esta etapa teve como base a ferramenta da qualidade fluxograma. Nesta etapa foi feita a construção do modelo propriamente dita, ou seja, foi desenvolvida a simulação do sistema real e ao fim do desenvolvimento da simulação foi feita a validação da mesma.

A tela principal da ferramenta desenvolvida pode ser observada na imagem a seguir (Figura 3).

Figura 3 – Modelo do Armazém no Software *Plant Simulation* em funcionamento



Fonte: Autoria própria (2019)

A validação foi feita através da definição do parâmetro de verificação do modelo: Produtividade. Foi feita então a comparação da produtividade real cedida pela empresa em relação à produtividade simulada, que apresentou diferença absoluta de 4%, considerada aceitável pela empresa. Esta aceitação revela que o sistema simulado estava representando significativamente o sistema real e que poderia, então, ser utilizado como ferramenta de teste e verificação pela empresa (Quadro 2)

Quadro 2 – Produção Real x Simulada

PRODUÇÃO		DIFERENÇA	
REAL	SIMULADA	ABSOLUTA	
1264	1317	53	4%

Fonte: Autoria própria (2019)

Após o desenvolvimento da ferramenta foi feito o projeto de experimentação, desta que visou delimitar como ela deveria ser utilizada a fim de cumprir o papel pela qual foi criada. Esta fase teve como base o diagrama de Ishikawa desenvolvido pela empresa onde foram mapeadas previamente causas que poderiam exercer influência sobre o processo de transporte e que deveriam, portanto, ser verificadas pela ferramenta. As causas mapeadas foram separadas em grupos, avaliadas quanto à possibilidade de serem representadas no sistema computacional e foi definida a estratégia para o teste de cada cenário.

No Quadro 3, a seguir, é possível observar quais das causas mapeadas poderiam ser testadas na ferramenta, sinalizadas em letras pretas, e o quanto essas representam em relação ao total de causas mapeadas em suas respectivas categorias.

Quadro 3 – Causas mapeadas no Ishikawa possíveis de serem testadas

Método	Meio Ambiente	Material	Medição	Máquina	Mão de Obra
Defasagem incorreta entre rebocadores	Corredores estreitos	Carrinhos comportam poucos Pop lds	Não há KPIs para acompanhamento da eficiência dos rebocadores	Jactos com engates manual	Pensamento individualista: usar mais espaço do que o necessário
Rebocadores chegam ao mesmo tempo na plataforma	Demora para cobrir carrinhos em dias de chuva	Carrinhos são grandes	Não há visualização de metas	Não é possível dar ré no comboio	Não seguir orientações de processo disponibilizadas
Não há área para os comboios esperar	Concentração de comboios utilizando mesmas portas	Comboios extensos	Não há medição de desempenho		Paradas em locais inadequados que impedem passagem de outros comboios
Atraso no preparo dos kits	Concentração de comboios utilizando mesmos corredores	Alta quantidade de kits			Não há área destinada à parada de comboios
Desvios nas linhas de separação	Distância longa entre a fábrica e o armazém	Falha no projeto de alguns carrinhos resulta em tempo gasto em reparo de peças			
Não há padrão oficial		Kits de mesmo comboio montados em corredores diferentes			
Compartilhar corredor com empilhadeira					
Compartilhar portas com carretinhas					
75%	60%	67%	0%	0%	50%

Fonte: Autoria própria (2019)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A empresa estudada possui sistemas logísticos de grandes dimensões e grande complexidade. Os colaboradores da empresa perceberam que o sistema apresentava desperdícios e que o mesmo poderia ser melhorado. Então, os colaboradores com experiência no processo apresentaram diversas hipóteses para as causas dos problemas identificados, mas que não poderiam ser verificadas e testadas por falta de flexibilidade no ambiente logístico. Essa falta de flexibilidade normalmente se refere a limitações de custo ou estruturais.

A ferramenta desenvolvida neste estudo foi criada no software Plant Simulation com a finalidade de permitir que as hipóteses levantadas pudessem ser testadas em um ambiente computacional que representasse o armazém estudado, sem implicação, então, de gastos financeiros e estruturais.

O uso da simulação, quando esta é válida, pode trazer grandes benefícios em casos como este, para testar alterações potenciais antes de serem implementadas efetivamente ou para verificar o efeito de determinadas características no sistema, no entanto, esse tipo de metodologia não é muito explorada pelas empresas.

Este trabalho contribui para demonstrar a viabilidade do software Plant Simulation ao representar um sistema logístico complexo de uma montadora de cabinas de caminhão e comprovar a sua representatividade através da validação do sistema, funcionando como ferramenta de experimentação livre de custos adicionais.

A ferramenta desenvolvida, uma vez validada, se mostrou útil para a representação do sistema estudado e estimulou os colaboradores envolvidos a proporem um Diagrama de Ishikawa abrangente, uma vez que, as causas mapeadas poderiam ser verificadas de forma simples.

Dentre os limitantes do modelo desenvolvido no Plant Simulation, está a necessidade da empresa em possuir disponível uma pessoa com prévio conhecimento ou com disponibilidade para receber capacitação da ferramenta, para utilizá-la e melhor explorá-la, a fim de não haver necessidade de contratação de serviços de consultoria, pois não se trata de uma ferramenta intuitiva. Outro limitante da ferramenta é expressar a viabilidade de alterações, para as características testadas, fundamentado apenas na eficiência do sistema, sem considerar o investimento necessário para implementação dessas alterações.

No modelo também há limitações, pois algumas características tiveram suas representações desprezadas no modelo de simulação, o que dá margem para variações entre os resultados real e simulado.

Com esta ferramenta, uma possibilidade a ser explorada pela empresa é desenvolver outros indicadores, além da produtividade, para fortalecer o estudo dos cenários testados e para dispor de uma ferramenta cada vez mais versátil e confiável. Além disso, para que a ferramenta seja cada vez melhor explorada ela deve estar aliada a uma coleta de dados confiável para se identificar se a ferramenta é válida para a análise dos aspectos específicos estudados e se pode, então, servir como instrumento de apoio à tomada de decisões.

Este trabalho incentiva a utilização da simulação de eventos discretos em estudos de fluxo logístico, propõe um modelo de simulação de um cenário logístico utilizando o software Plant Simulation e disponibiliza referências suporte para a temática de simulação de eventos discretos, logística e melhoria contínua.

REFERÊNCIAS

- BALDESIN, J. C. M.; GUIMARÃES, A. M.; ALMEITA NETO, F. N. **Fluxo Logístico: do Recebimento à Expedição no Processo de Ampliação de uma Empresa do Segmento de Reciclagem**. XI SEGeT: 2014. 11 p.
- BASTOS, André Luís Almeida et al. Dificuldades na implementação do lean manufacturing nas empresas do setor têxtil de santa catarina. **Revista Produção Industrial & Serviços**, Maringá, v. 04, n. 01, p.1-12, dez. 2017).
- BATTINI, D. et al. Part-feeding with supermarket in assembly systems: transportation mode selection model and multi-scenario analysis. **Assembly Automation**, Vicenza, v. 01, n. 35, p.149-159, fev. 2015. University of Padua.
- BERG, J. P.; ZIJM, W. H. M. **Models for warehouse management: Classification and examples**. International Journal of Production Economics, v.59, p.519-528, 1999.
- BOWERSOX, D.J.; CLOSS, D. J.; STANK, T. P. **21st Century Logistics: making supply chain integration a reality**, Oak Brooks: Council of Logistics Management, 1999.
- BOYSEN, N. et al. **Part logistics in the automotive industry: Decision problems, literature review and research agenda**. Elsevier – European Journal of Operational Research, v. 242, p. 14, 2015.
- CHRISTMANSSON, M. et al. **A case study of a principally new way of materials kitting: an evaluation of time consumption and physical workload**. International Journal Of Industrial Ergonomics, Amsterdam, v. 30, n. 1, p.49-65, jul. 2002.
- COIMBRA, Euclides A. **Total Flow Management: Achieving Excellence with Kaizen and Lean Supply Chains**. 1 st ed. Kaizen Institute, 2009.
- CORRÊA, Henrique L.; GIANESI, Irineu G. N.. **JIT, MRP II e OPT: Um Enfoque Estratégico**. São Paulo: Atlas, 1992.
- DING, F. U.; CHENG, L. **An effective mixed-model assembly line sequencing heuristic for Just-In-Time production systems**. Elsevier – Journal of Operations Management, v. 11, p. 5 1993.
- FREITAS FILHO, P. J. F. de. (2008). **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em arena**. (2ª ed). Florianópolis: Visual Books.
- GENNARO, C. K. et al. **Aplicação da Simulação de Eventos Discretos para propostas de melhorias numa linha de montagem de uma empresa do setor automotivo**. Exacta – EP, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 47-56, 2016.
- HARRIS, Rick; HARRIS, Chris; WILSON, Earl. **Fazendo fluir os materiais**. 1 ed. São Paulo: Lean Institute Brasil, maio 2004.
- LAW, A.M., KELTON, W.D. **Simulation modeling & analysis** (2nd edition), McGraw Hill, New York, 1991.

MORORÓ, Bruno Oliveira. **Modelagem sistêmica do processo de melhoria contínua de processos industriais utilizando o método seis sigma e redes de Petri**. 2008. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Controle e Automação Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MOURA, Reinaldo A.. **Check sua logística interna**. 2. ed. São Paulo: IMAM, 2002.

OHNO, T. **O sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

POZO, H. **Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais: uma abordagem logística**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

RODRIGUES, Márcio Garcia. **Abastecimento de materiais numa linha de montagem final multiproduto**. 2016. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

RODRIGUES, Nádya Vanda Gonçalves. **Mizusumashi na otimização da logística interna da indústria automotiva**. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão Industrial, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2011.

RODRÍGUEZ, C. M. T. et al. **Lean na Logística: uma reflexão da agregação de valor e desperdícios**. *Mundo Logística*, Curitiba, v. 26, n. 5, p.18-23, 2012.

SILVA, Hugo Aparecido Schitkoski da. **Estudo de caso da otimização do armazém de uma indústria automobilística**. 2015. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

TEIXEIRA, Filipe Andre da Costa. **Filosofia Lean: Comboio Logístico e Logística Interna na Polinter**. 2011. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão Industrial, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2011.

VUJOSEVIC, Ranko. **Lean Kitting: A Case Study**. 2012. The University of Texas at Austin Department of Mechanical Engineering Austin, Texas. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.167.1030&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 15 set. 2019.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. e ROOS, Daniel **A máquina que mudou o mundo**. Campus. 5ª Edição. Rio de Janeiro, 2004.

XAVIER, Amanda Fernandes et al. A simulação a eventos discretos como ferramenta de tomada de decisão na implementação de uma linha de montagem em uma indústria do setor automobilístico. **Ingepro: inovação, gestão e produção**, Itajubá, v. 2, n. 5, p.3-15, maio 2010.