

## ARTIGOS

**ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS EM GESTÃO DE ESTOQUE E DE DEMANDA POR MEIO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS: PROPOSTA DE UM MODELO MENTAL EM SIMULAÇÃO ARENA ®****ANALYSIS OF STRATEGIES IN INVENTORY AND MANAGEMENT DEMAND THROUGH POSSIBLE SCENARIOS: PROPOSAL OF A MENTAL MODEL IN ARENA SIMULATION**

## RESUMO

**Roberto Ramos de Moraes**  
**1125656@mackenzie.br**

*Doutorando em administração de empresas pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Mestre em Engenharia de Produção. Professor na Universidade Presbiteriana Mackenzie e Na Faculdade de Tecnologia do Centro Paula Souza. São Paulo - SP - BR.*

**Roberto Giro Moori**  
**rgmoori@uol.com.br**

*Pós-doutorado em Administração pela University of Bath, Inglaterra (2003) e em Logística e Engenharia da Informação pela Tokyo University of Marine Science and Technology, Japão (2010). Professor titular da Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo - SP - BR.*

**Roberto Gardesani**  
**roberto.gardesani@mackenzie.br**

*Pós-Doutorado em Administração na área de Gestão da Logística Reversa influenciada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. Doutor e Mestre em Administração de Empresas. Professor da Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo - SP - BR.*

O objetivo deste estudo foi explorar a importância dos conhecimentos teóricos e práticos para o desenvolvimento de um modelo para gestão de estoque e sua simulação. Utilizando-se do aplicativo ARENA ®, foram gerados conhecimentos para serem direcionados para aplicação em operações empresariais. Com os resultados, concluiu-se de um lado, na modelagem, que foi essencial conhecer teorias que deram sustentação para descrever os limites e os comportamentos do sistema por meio de parâmetros de entrada; de outro, as análises podem ser difíceis de interpretação como relações de causa-efeito, especialmente, em descobrir se os resultados foram efeitos das inter-relações entre as variáveis ou da aleatoriedade do sistema modelado.

**Palavras-chave:** software de simulação ARENA ®; gestão da cadeia de suprimentos; alinhamento estratégico; gestão de estoques; gestão da demanda.

## ABSTRACT

The aim of this study was to explore the importance of theoretical and practical knowledge for the development of a model for inventory management and its simulation. Using the ARENA ® application, knowledge was generated to be directed to application in business operations. With the results, it was concluded: on the one hand, in modeling, it was essential to know theories that gave support to describe the limits and behavior of the system through input parameters; on the other hand, the analyzes can be difficult to be interpreted as cause-effect relationships, especially in disco-

vering whether the results were effects of the interrelationships between the variables or of the randomness of the modeled system.

**Keywords:** ARENA ® simulation software; supply chain management; strategic alignment. inventory management; demand management.

## 1 INTRODUÇÃO

A gestão de estoques tem sido uma das preocupações centrais das atividades comerciais e industriais em **razão de seu impacto no desempenho** econômico da empresa, seja pelos custos da operação, seja pelos riscos de falta de produtos que afetem o atendimento aos clientes. A ideia de considerar excesso de estoques como sinônimo de desperdício tem conduzido as empresas a promover maior eficiência dos estoques, buscando a otimização em seu dimensionamento. Nesse sentido, técnicas administrativas como produção enxuta, *just-in-time*, uso de tecnologias da informação e de modelos dinâmicos de simulações digitais têm sido utilizados para operar sistemas gerenciais por pessoas preocupadas com as consequências de suas ações (PIDD, 1998). Richmond (1994) considera o uso da dinâmica de sistemas, como ferramenta de modelagem e simulação, fundamental para qualquer processo de pensamento sistêmico. Embora os modelos mentais sejam ocultos, os modelos de dinâmica de sistemas como ferramentas de pensamento são explícitos e se baseiam na percepção do mundo real, como salienta o criador da técnica, Forrester (1961).

O mundo real, contextualizado por um mercado global, em que 90% da demanda não é totalmente atendida por fornecedores locais, levando, assim, à internacionalização da cadeia de suprimentos (BOWERSOX *et al.*, 2014), tem levado as unidades de negócios independentes das empresas a se unirem por um vínculo fraco com base em transações individuais, ou seja, a cada manifestação de necessidade, procede-se uma compra, em vez de se buscar um contrato de médio a longo prazo. As operações

de negócios tradicionais são impulsionadas por uma série de transações independentes, sem ser amortecida pelo estoque de produtos.

Conforme Coase (1937), autor seminal do tema, em artigo que deu origem à economia dos custos de transação pela visão tradicional dos economistas, o fornecimento é ajustado pela demanda e a produção pelo consumo, de uma maneira automática, elástica e responsiva, sendo, dessa forma, que a direção dos recursos é diretamente dependente do mecanismo de preços. Mas, pela visão da economia dos custos de transação, a estrutura é outra:

Fora da empresa, os movimentos dos preços dirigem a produção, que é coordenada por meio de uma série de transações de câmbio no mercado. Dentro de uma empresa, essas transações de mercado são eliminadas e, no lugar da complicada estrutura de mercado com transações de troca, é substituído pelo empresário-coordenador, que dirige a produção (COASE, 1937, p. 388, tradução nossa).

No âmago da alavancagem operacional, tem surgido a gestão da cadeia de suprimentos, por meio da colaboração e do compartilhamento de informação (CAO; ZHANG, 2011), em que o recebimento de produtos ocorre em lugar, tempo e quantidade adequados e fluxo contínuo entre os parceiros da cadeia para reduzir o tempo de permanência dos estoques.

Todavia, em um ambiente de turbulência competitiva, afetada por megatendências como a globalização e as exigências, cada vez maiores, por maior grau de personalização de produto, a importância da simulação torna-se evidente (MOURTZIS; DOUKAS; BERNIDAKI, 2014). Nesse sentido, a matemática e os algoritmos ostentam, cada vez mais, influência nos negócios empresariais. Entretanto, certos problemas de gestão são muito complexos para serem resolvidos com matemática pura ou incluem elementos aleatórios ou situações de riscos que desafiam uma solução matemática gráfica.

Nesses casos, pode-se construir um modelo de problema baseado no mundo real e em uma abordagem de tentativas e erros, chegando-se a uma solução razoável (MIYAGUI, 2004). A simulação é uma maneira de modelar a essência de uma atividade ou sistema, de modo que podem ser feitas experiências para avaliar o comportamento do sistema ou o efeito ao longo do tempo. Não é uma técnica de otimização (como a programação linear, por exemplo), mas permite-se enfrentar problemas bastante complexos ou impróprios para a matemática comum.

As simulações eram feitas manualmente, mas, com o avanço da tecnologia, a maioria dos problemas reais de negócios é desenvolvida em computadores. Nenhuma tentativa é usada para imitar a realidade em todos os aspectos, somente as variáveis adequadas e mais representativas do problema em estudo são incluídas. Exemplificando, ao simular um modelo de gerenciamento de estoque, podem-se obter indicações de relações causais entre nível de estoques e custos de transação.

Diante do exposto, estabeleceu-se como problema de pesquisa responder à seguinte questão: é possível desenvolver aplicativos em simulação de planejamento de operações sem conhecimentos prévios de teorias de gestão? O objetivo geral deste estudo foi explorar a importância dos conhecimentos teóricos e práticos para o desenvolvimento de um modelo para gestão de estoque e sua simulação. O objetivo específico, via pesquisa, foi o de explorar os caminhos na área da administração: da teoria para as práticas gerenciais e vice-versa, de tal modo, aproximar academia e mercado.

Quanto às delimitações do estudo, as principais foram: a) a escolha da técnica de simulação de modelagem de eventos discretos, dado que a maioria dos processos observados no mundo é constituído de mudanças contínuas; b) a aplicação da simulação em uma cadeia de suprimentos, hipotética, composta de três segmentos: recebimento de materiais, processamento e armazenagem e; c) a utilização de exemplos de autores como Altiock e Melamed

(2007) e Kelton, Sadowski e Sturrock (2004) para explorar o objeto do estudo.

O estudo está estruturado da seguinte maneira: após a introdução, é descrito o referencial teórico que dá apoio à modelagem da simulação. Na seção 3, desenvolve-se a simulação da dinâmica de materiais em estoques, em seguida, os resultados e a análise da simulação. Por fim, são descritas a experimentação e a análise de novos modelos; as conclusões e as sugestões para prosseguimento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 NATUREZA E MÉTODOS DE PREVISÃO DA DEMANDA DE MATERIAIS

A previsão dos níveis de demanda é vital para a empresa como um todo, à medida que proporciona a entrada básica para o planejamento e controle de todas as áreas funcionais, entre as quais estão logística, marketing, produção e finanças. Os níveis de demanda e os momentos, que ocorrem, afetam, fundamentalmente, as estruturas produtivas, as necessidades financeiras e as estratégias dos negócios.

Quanto à natureza, segundo Ballou (2006), a previsão de demanda abrange situações:

- a) espacial como a localização de armazéns, determinar o balanceamento dos estoques ao longo da rede logística e alocar, geograficamente, os recursos de transportes;
- b) temporal como resultado do crescimento ou decréscimo nas taxas de vendas, sazonalidade do padrão de demanda e flutuações gerais causadas por um sem-número de fatores. Apesar das dificuldades, muitas empresas não têm alternativa, portanto devem fazer previsões;
- c) irregularidade determinada pela intermitência, em função do baixo volume geral e da incerteza. Um dos principais motivos que levam à ne-

cessidade da existência de estoques é a incerteza sobre o comportamento da demanda (MORAIS, 2015);

- d) regularidade em que os padrões de demanda podem ser divididos em componentes de tendência, sazonais ou aleatórios;
- e) independência, neste caso, a demanda é gerada por meio de muitos clientes, a maioria dos quais faz compras individuais de apenas uma fração do volume total, distribuído pela empresa. Quando se tem demanda independente, os procedimentos de previsão estatística proporcionam bons resultados. A maior parte dos modelos de previsão em curto prazo tem base em condições de demanda independente e aleatória;
- f) dependência em que a demanda deriva das exigências especificadas em programas de produção, os padrões da demanda dependentes são altamente influenciados e não aleatórios. A previsão de necessidades por meio da demanda dependente resulta em previsões perfeitas, uma vez que a demanda do produto final é conhecida antecipadamente e com exatidão.

Quanto aos métodos, segundo Ballou (2006), a previsão de demanda é dividida em três categorias:

- a) qualitativos são aqueles que recorrem a julgamento, intuição, pesquisas ou técnicas comparativas a fim de produzir estimativas quantitativas sobre o futuro. As informações relativas aos fatores que afetam a previsão são tipicamente não quantitativas, flexíveis e subjetivas. A natureza não científica desses métodos torna difícil sua padronização ou mesmo a validação de sua exatidão, especialmente, quando se utiliza da teoria fundamentada, que é mais aberta à análise dos dados (EASTERBY-SMITH; THORPE;

LOWE, 1999). Há, porém, ocasiões em que esses métodos são todo o arsenal de que se dispõe para prever o sucesso de novos produtos, mudanças de políticas de governo, ou o impacto de uma nova tecnologia. Deve-se optar por eles, preferencialmente, em previsões de médio a longo alcance;

- b) projeção histórica quando se dispõe de um número razoável de dados históricos e a tendência e as variações sazonais nas séries de tempo são estáveis e bem definidas, pois a projeção desses dados, no futuro, pode representar uma maneira eficiente de previsão em curto prazo. A premissa básica é que o padrão de tempo futuro será uma repetição do passado, pelo menos, em sua maior parte. A natureza quantitativa das séries de tempo incentiva o uso de modelos matemáticos estatísticos como principais fontes de previsão e;
- c) causais, quando a premissa básica dos métodos causais de previsão é derivada dos valores de variáveis independentes. Por isso, ao identificar uma boa relação, por exemplo, entre preço e consumo, a informação pode ser usada para prever necessidades com eficácia (BOWERSOX et al., 2014). Os modelos causais surgem em uma variedade de formatos, tais como, estatísticos, no caso de modelos de regressão e econométricos; e descritivos, como ocorrem nos modelos de entrada e saída, ciclo de vida e simulação em computador.

Na prática, não existe um modelo único de previsão capaz de ser melhor em todas as situações. Em lugar disso, uma combinação de vários modelos pode transformar-se em previsões mais estáveis e de maior exatidão. Os métodos de previsão funcionam melhor quando a demanda não apresenta grande variabilidade.

Para Ballou (2006), embora algumas diretrizes já tenham sido apresentadas para tratar o caso da demanda incerta, a previsão colaborativa vem sendo sugerida como uma abordagem aperfeiçoada do problema, especialmente no planejamento dos processos de negócio. Sem colaboração, cada empresa planeja o nível de demanda de seus próprios clientes, tanto individual, quanto coletivamente. O resultado é um estoque especulativo baseado na antecipação à demanda prevista independentemente, resultando em um ciclo interminável de excesso e falta de estoque (BOWERSOX *et al.*, 2014). A previsão colaborativa utiliza-se das entradas de múltiplos participantes, sejam eles de áreas funcionais variadas de uma só empresa (marketing, operações, logística, financeiro, compras, etc.) sejam dos vários membros de uma cadeia de suprimentos.

Empresas cujas estratégias são voltadas para coordenação de previsões, nos múltiplos níveis da cadeia de suprimentos, geralmente, no seu cerne, existem preocupações com a gestão da distorção da demanda e amplificação de variância relacionada ao efeito chicote (SHOCKLEY; FETTER, 2015).

Compradores ou pessoal do marketing podem estar mais perto do cliente final e ter, por isso mesmo, o melhor ‘sentimento’ da demanda final. Por outro lado, os vendedores e as pessoas do setor de compras podem estar atentos à escassez nos suprimentos ou às limitações de capacidade que restringem a demanda ou afetam o preço do produto, que, por sua vez, afetam os preços e os níveis de demanda do produto. O pessoal do transporte ou os transportadores podem ter a capacidade de prever prazos de entrega de modo a favorecer os serviços aos clientes e o nível das vendas.

Outra alternativa de previsão é a busca incessante da flexibilidade e da resposta rápida (VACHON; HALLEY; BEAULIEU, 2009). As vendas de alguns produtos e serviços são tão imprevisíveis que a utilização dos tipos de métodos de previsão até aqui descritos dá como resultado tamanho potencial de erro de previsão que os tornam impraticáveis. Padrões de

demanda irregular são um exemplo disso, daí a necessidade de alternativas. O reconhecimento de que não há previsão melhor do que esperar até que a demanda dos clientes se materialize é uma base para realizar, apropriadamente, a demanda. Se os processos de cadeia de suprimentos podem ser flexibilizados e passar a reagir, com rapidez, às necessidades da demanda, a necessidade de previsão é pequena. Todavia, acrescenta Sawhney (2013), a flexibilidade da força de trabalho não translada, automaticamente, para o melhor desempenho da empresa.

Quando surge uma defasagem de tempo em relação ao suprimento, a previsão serve para estabelecer os níveis de produção, as compras e os estoques necessários para que os suprimentos estejam disponíveis quando ocorrer a demanda. Alterar a natureza da cadeia de suprimentos de maneira que os processos possam reagir com flexibilidade e eficiência às necessidades específicas de cada cliente, além de fazer tudo isso, instantaneamente, torna a previsão desnecessária.

Empresas situadas à montante da cadeia, tipicamente, têm melhores informações sobre o de suas instalações e potencial capacidade de entregar quaisquer pedidos no futuro imediato (ALTUG; MUHARREMOGLU, 2011). Não obstante, em ambiente em que a demanda é altamente imprevisível, abordagens alternativas devem ser exploradas. Contudo, em muitos casos em que a demanda é ‘regular’, suprir uma demanda prevista, continua sendo a alternativa preferencial.

## 2.2 DINÂMICA DOS MATERIAIS EM ESTOQUES

O gerenciamento de estoque envolve riscos que variam de acordo com a posição da empresa na cadeia de suprimentos. Para um fabricante, o risco do estoque é de longo prazo, que se inicia com a compra da matéria-prima e dos componentes, produtos em processo e termina com o produto acabado colocados em depósitos da empresa ou em consignação em instalações de clientes (BOWERSOX *et al.*, 2014). Uma

gestão de estoques, eficiente, necessita de análises para verificar o sincronismo do fluxo de entrada e saída de produtos, giro ou excesso, e determinar níveis adequados dos estoques. Uma simulação poderia ser usada para responder a questões do tipo ‘o que aconteceria se?’ (FREITAS FILHO, 2008). Adicionalmente, poderia incluir medidas de desempenho como percentual de itens em pedidos pendentes, percentual de pedidos atendidos por inteiro e percentual de itens atendidos por abastecimento cruzado por meio de locais secundários.

Segundo Ballou (2006), o gerenciamento de estoques desenvolve-se em torno de duas filosofias básicas:

- a) a filosofia de puxar materiais considera os estoques independentes. Exemplo, um armazém independe de todos os outros pontos de estoques do canal de distribuição. Prever a demanda e determinar as quantidades de reposição são tarefas realizadas, que se leva em consideração apenas as condições locais. Nenhuma atenção direta se presta ao efeito que as quantidades de reposição, com seus níveis e momentos particulares, terão sobre as economias da fábrica de origem. Contudo, esta filosofia exerce um controle preciso sobre a produção os níveis de estoques em cada local. Nesse caso, o *kanban* (traduzido normalmente como cartão) é um subsistema de controle de produção e de estoque em empresas que adotam princípios da manufatura enxuta. A filosofia de puxar é especialmente utilizada em nível do varejo em que mais de 60% dos bens duráveis e quase 40% dos bens de consumo estão sob programas de reposição. A filosofia de puxar, reconhece a impossibilidade de controlar o estoque, de tal modo, determinar, com exatidão, a demanda e os prazos de entrega. Dois métodos de controle de estoque representam os fundamentos da maior

parte das filosofias de puxar materiais com padrões de demanda perpétuos. São eles: o método do ponto de pedido e o método de revisão periódica. Sistemas práticos de controles podem ter base em qualquer um desses métodos, ou em uma combinação dos dois e;

- b) a filosofia de empurrar materiais, as decisões sobre cada estoque são adotadas independentemente, o momento e os tamanhos dos pedidos de reposição não são necessariamente bem coordenados com os tamanhos dos lotes de produção, quantidades econômicas de compras ou volumes mínimos de pedidos. Da mesma forma que a filosofia de puxar considera difícil controlar níveis de estoque porque o material é empurrado para dentro do processo de fabricação pelo planejamento das necessidades de materiais (MRP), que é um documento de planejamento, não uma ferramenta de controle (BLACK, 1998).

Os níveis dos estoques são estabelecidos coletivamente ao longo do conjunto do sistema de armazenagem. Normalmente, a filosofia de empurrar é usada quando as economias de escala de compra ou de produção suplantam os benefícios dos níveis mínimos de estoques coletivos conseguidos pela filosofia de puxar. Além disso, os estoques podem ser gerenciados de forma centralizada a fim de conseguir um melhor controle geral, economias de produção e compras podem ser usadas para ditar os níveis de estoques visando reduzir os custos, e a previsão pode ser feita por demanda agregada e, então, rateada entre todos os pontos de estoque para melhorar desempenho e custos.

O reabastecimento colaborativo é uma filosofia híbrida de puxar e empurrar (BALLOU, 2006). Nesse caso, os membros do canal representantes das fontes de abastecimentos e dos pontos de estoques determinam, em conjunto, as quantidades e o momento do reabastecimento. A finalidade é dinamizar o fluxo de produtos ao longo da cadeia de suprimentos (BOWER-SOX *et al.*, 2014).

No gerenciamento simples de estoques, por exemplo, quando a disponibilidade de um item específico diminui para um nível determinado, ele é automaticamente solicitado por um computador. Obviamente, não se trata de uma situação estratégica (HALL, 2004), dado que ele é consequência da estratégia, previamente estabelecida e adotada pela empresa.

### 3 SIMULAÇÃO DA DINÂMICA DE MATERIAIS EM ESTOQUES

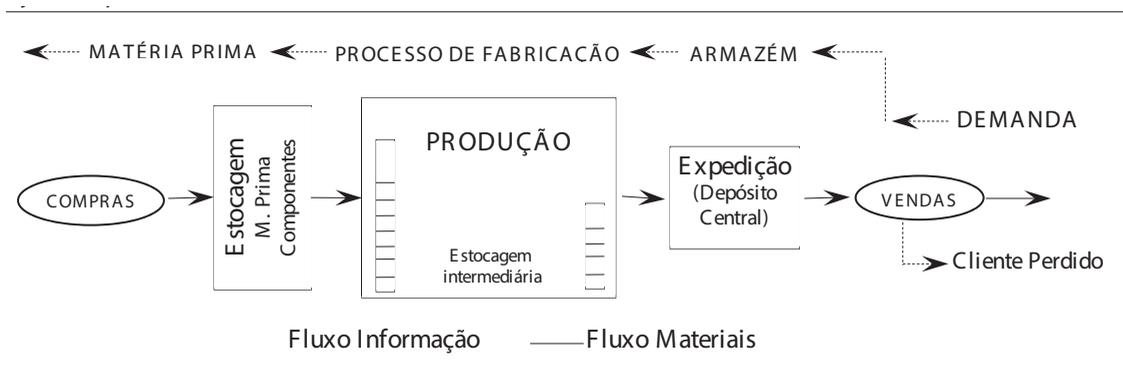
#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

Para simular o modelo, utilizou-se do exemplo de modelo genérico descrito em Altiok e Melamed (2007), complementado com detalhes sobre os processos para facilitar o entendimento da modelagem, como são descritos a seguir. No caso, tratou-se de uma empresa fictícia de manufatura. Na área comercial, são desenvolvidas atividades de natureza administrativas como recebimentos de pedidos, marketing, vendas, contabilidade e finanças. Na área da fábrica, são desenvolvidas atividades, como expedição, manutenção, estocagem de produtos acabados e a manufatura.

Portanto, a empresa tem dois fluxos que percorrem a cadeia bem definidos: um de informação (no sentido da jusante para a montante), e outro de materiais (no sentido do montante para a jusante), como se pode observar na planta baixa, mostrada na figura 1.

Figura 1 - A movimentação dos produtos na cadeia

de suprimentos (montante para a jusante) e de informação (jusante para montante)



Fonte: adaptado de Prado (2014).

A empresa tem definido as estratégias de negócio, de modo a atender aos clientes com produtos de baixo custo, rapidez de entrega e qualidade, maiores do que os concorrentes. Nesse sentido, as tecnologias de informação e os processos produtivos têm sido de constante inovação para auxiliar no compartilhamento de informações e balanceamento das capacidades e demandas.

#### 3.2 O PROCESSO DO CICLO LOGÍSTICO DO PEDIDO DE COMPRA

Os passos no ciclo logístico total do pedido são:

- o cliente realiza o contato com a área comercial na aquisição do produto, por meio da colocação do pedido. Uma série de análises ocorre em paralelo; existe o contato com o sistema de planejamento e controle da produção para verificar a disponibilidade do produto na expedição, em estoques, backlogs ou programas de produção e com o sistema financeiro para verificar a situação de crédito do cliente. Isso gera informações capazes de recusar, renegociar ou aceitar o pedido. Uma vez aceitas as condições de crédito e prazo de entrega, o sistema de gerenciamento de pedido aloca um código ao pedido do cliente e transmite-o, por meio eletrônico, para a fábrica para o atendimento da solicitação do pedido;

- b) na fábrica, o pedido do produto é reanalisado, especialmente, com relação ao prazo de entrega. Será imediata, se há produto disponível na área de estocagem. Esse produto é encaminhado à expedição para posterior faturamento.

Havendo produto em estoque, mas está comprometido com *backlogs* ou não há produtos em estoques, o pedido, então, entra em programação, cuja restrição maior é a capacidade máxima produtiva.

### 3.3 O ALINHAMENTO DA GESTÃO DE ESTOQUE E DA DEMANDA

Para o desenvolvimento do modelo de simulação, a área de fabricação mostrada na figura 1 foi dividida em três segmentos: o primeiro, recebimento da matéria prima para a fabricação; o segundo, o processo de fabricação; o terceiro, a armazenagem do produto fabricado.

A dinâmica da fabricação se inicia com a alimentação da matéria-prima ao processo de fabricação cujas unidades produzidas são disponibilizadas em um armazém. Os produtos armazenados são demandados pelos clientes por meio de pedidos de compras. Pedidos não atendidos pela disponibilidade de produto no armazém representam perdas de negócios.

A fabricação opera da seguinte maneira:

- a) a matéria-prima em armazenagem é sempre suficiente, visto que o processo de fabricação nunca para;
- b) o processamento da produção é realizado em lotes de cinco unidades, e os lotes acabados são colocados no armazém;
- c) o tempo de processamento do lote é uniformemente distribuído entre 10 e 20 minutos;
- d) o processo de produção sofre falhas aleatórias de manutenção, que podem ocorrer a qualquer tempo;
- e) os tempos entre falhas são exponencialmente distribuídos com uma média de 200 minutos e;
- f) os tempos de reparos são normalmente

distribuídos, com uma média de 90 minutos e um desvio padrão de 45 minutos;

O armazém opera da seguinte forma: as operações de depósito implementam a política de controle de estoque (Mínimo  $[r]$ , Máximo  $[R]$ ), em que:

- a) o armazém tem uma capacidade máxima  $(R) = 500$  unidades;
- b) o processo de produção para quando o estoque no armazém atinge o nível máximo  $(R)$ ;
- c) em razão disso, o processo de produção permanece inativo até que o nível estoque reduza para ponto de estoque mínimo  $(r) = 150$  unidades;
- d) neste ponto de ressuprimentos, o processo de produção é reiniciado até que o nível de estoque do armazém atinja o nível máximo  $(R) = 500$  unidades.

Ainda, os tempos de chegada entre clientes sucessivos são, uniformemente, distribuídos entre 3 a 7 horas, e os tamanhos de demanda individual são distribuídos uniformemente entre 50 e 100 unidades e a chegada do cliente. O estoque é imediatamente verificado, e, se houver estoque disponível, essa demanda é prontamente satisfeita. De outra forma, a parcela não satisfeita da demanda é perdida.

As medidas de desempenho do sistema de interesse são:

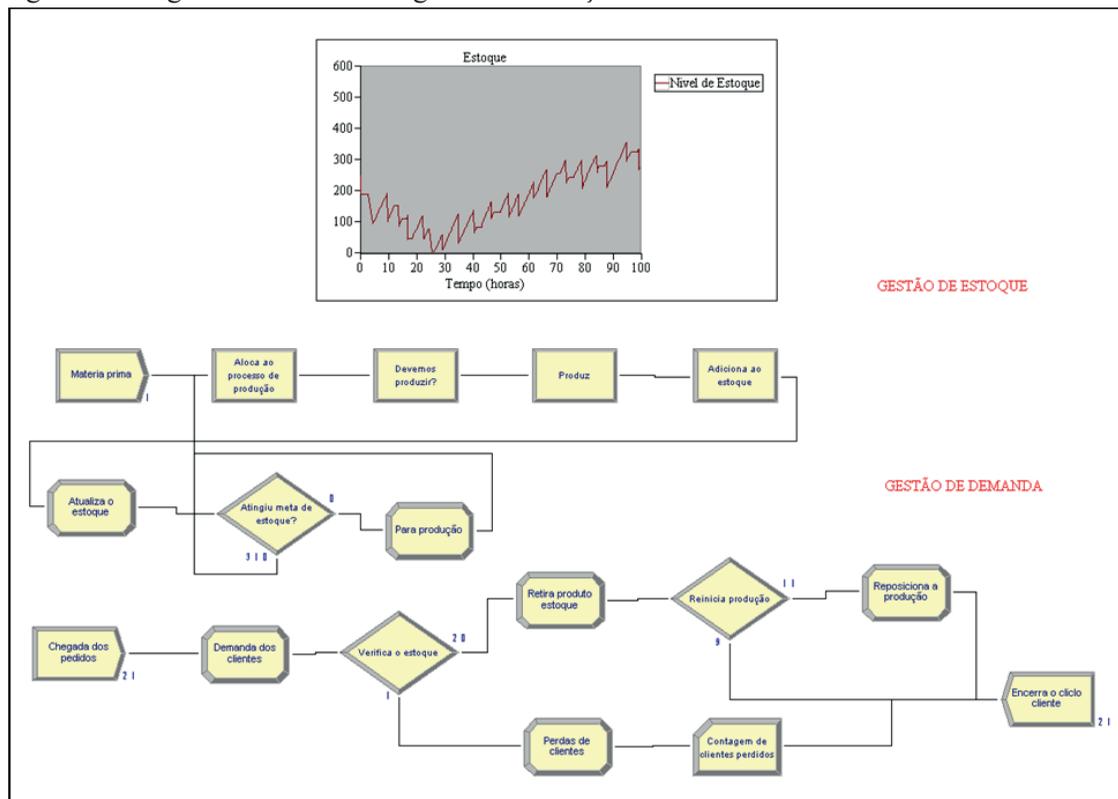
- a) utilização do processo;
- b) probabilidade de paralisação do processo;
- c) nível de estoque médio do depósito;
- d) porcentagem de clientes cuja procura não é totalmente satisfeita à chegada ao armazém e;
- e) tamanho médio das demandas perdidas dos clientes no armazém, uma vez que as demandas não estão totalmente satisfeitas.

### 3.4 DIAGRAMA DA LÓGICA DO CONTROLE DA SIMULAÇÃO

**Para simular** o modelo de gestão de estoque, segundo o processo logístico descrito nos tópicos de 3.1 a 3.3, desenvolveu-se um

aplicativo denominado sistema de simulação em alinhamento estratégico (Si<sup>2</sup>AE), utilizando do software ARENA ® Simulation da Rockwell System. O diagrama de bloco que mostra a lógica de controle do modelo para simulação é mostrado na figura 2.

Figura 2 - Diagrama de bloco da lógica de simulação



Fonte: Altioek e Melamed (2007) e Schoolin (2009).

## 4 RESULTADOS E ANÁLISE DA SIMULAÇÃO

A tabela 1 exibe os resultados para uma execução de simulação de 1.000.000 de minutos de duração (um pouco menos de 2 anos).

Tabela 1 - Resultado da simulação

USER SPECIFIED				
TALLY	Average	Half Width	Minimum	Maximum
Avg Amount Lost per Customer	25.854	1.551	0.027	91.053
TIME PERSISTENT				
Production On	1.000	(insufficient)	0	1.000
Stock on Hand	103.520	10.582	0	462.740
VARIABLE				
Inventory	103.520	10.582	0	462.74
Production	1.000	(insufficient)	0	1.000
Target Stock	500.000	(insufficient)	500.000	500.000

OUTPUT	Value
Lost Percentage	0.2198

FREQUENCIES				
PROCESS STATES	Number Obs	Average Time	Standard Percent	Restricted Percent
BUSY	3.367	3.4046	68.78	69
FAILED	3.367	1.5454	31.22	31

Nota: Os resultados obtidos com a simulação são praticamente os mesmos que os obtidos pelas fontes

Fonte: Altiok e Melamed (2007).

Em relação ao desempenho do modelo de simulação, observa-se pela tabela 1:

#### 4.1 NA SEÇÃO *TALLY* (CONTAGEM)

A quantidade média de vendas perdidas por falta do produto, por cliente, foi de 25,85 unidades. O valor obtido do semi-intervalo de confiança dado por  $h$  (Half-width), foi de 1,55. Considerando que, comumente, busquem intervalos de confiança para os quais o valor de  $h$  seja menor ou igual a 10% da média amostral, logo o valor obtido de  $h = 1,55$  satisfaz a meta planejada, denotando que a amostra foi suficiente para garantir a obtenção de um intervalo de confiança aceitável de 95%.

#### 4.2 NA SEÇÃO *TIME PERSISTENT* (TEMPO DE DURAÇÃO DA SIMULAÇÃO)

A fabricação de produtos, em nenhum momento, parou por falta de materiais. No entanto, a disponibilidade de estoque foi de cerca de 103 unidades, bem abaixo do nível de reposição que era de 150 unidades.

#### 4.3 NA SEÇÃO *OUTPUT* (SAÍDA)

A quantidade de unidades de produtos demandadas e perdida por falta do produto no armazém foi de 21,98%, deixando os clientes parcialmente satisfeitos ou não satisfeitos.

#### 4.4 NA SEÇÃO *FREQUENCES* (FREQUÊNCIAS)

O processo de fabricação, o tempo médio de atividade e de inatividade foram 69,0% (ocupado) e 31% (ocioso), respectivamente.

Portanto, por meio dos dados gerados, mostrados na tabela 1, outras análises podem ser realizadas à medida que aumentam as necessidades e as complexidades da administração do negócio. Como ilustração, duas maneiras de simulação de cenários, para auxiliar processos decisórios, são vistas a seguir.

### 5 EXPERIMENTAÇÃO E ANÁLISES DE NOVOS MODELOS

A seguir foram construídos cenários para responder a questões do tipo: ‘o que aconteceria se?’ de duas maneiras diferentes. A primeira, por meio da entrada dos dados no próprio modelo de simulação. A segunda, mediante o uso do recurso ‘*Process Analyser*’, disponível no menu principal (guias) na tela inicial do software ARENA®, em que pudesse realizar, simultaneamente, simulações de vários cenários.

#### 5.1 UTILIZANDO-SE DA ALTERAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA. NESSE CASO, FORAM SIMULADOS DOIS CENÁRIOS.

**Estratégia 1** - É possível modificar o sistema de simulação para reduzir perdas de vendas

por falta de produtos no estoque para um nível aceitável?

Observa-se que a porcentagem média, de 25,85%, de falta de produtos que ocasiona perda de cliente é alta. Uma decisão gerencial é reduzir essa porcentagem de falta de produto. Em estoque orientado para o cliente, sistemas como o que está em consideração, uma maneira de aumentar a porcentagem de atendimento é aumentar o nível de estoque disponível. Nesse caso, pode-se alcançar essa meta de duas formas.

A primeira é modificar o sistema de simulação original, mostrado na figura 2, investindo em inovações para reduzir as atividades de manutenção, que aumentará o tempo do processo de fabricação. Segundo Eroglu e Hofer (2014), o aumento da inovação em intensidade tecnologia industrial aumenta o efeito do estoque enxuto sobre o desempenho, enquanto a intensidade competitiva tem o efeito oposto.

Assim, realizando-se uma nova simulação, em que o tempo médio de reparo é reduzido para 70 minutos com um desvio-padrão de 45 minutos (ao invés de 90 minutos com desvio padrão de 45 minutos) mostra que a porcentagem média de falta de produtos, passa de 25,85% para, aproximadamente, 21,31%, o que representa uma melhoria de cerca de 18% nas atividades de manutenção. A porcentagem de demandas, parcial ou totalmente, insatisfeitas reduz significativamente de 21,98% para 12,14%. Esta redução representa uma melhoria de mais de 44% na porcentagem de demanda, parcial ou totalmente, satisfeita.

**Estratégia 2** – O que acontece se aumentar a porcentagem de demanda totalmente

satisfeita por meio do aumento do nível de ressuprimento do estoque.

Observa-se, nesse caso, que o nível de estoque atingiria o nível de ressuprimento mais cedo, e a produção, da mesma forma, também seria retomada mais cedo, diminuindo, assim, a chance de um déficit de estoque. É realizada uma nova simulação, duplicando-se o nível de ressuprimento de 150 para 300 unidades. Nesse novo cenário, a porcentagem de perdas por falta de produto (21,98%) não produziu efeito (21,98%).

A justificativa desse resultado se deve ao fato de que o estoque estava abaixo do nível de ressuprimento e, conseqüentemente, o processo de produção estava ocupado de qualquer maneira. Essa análise leva a concluir que uma melhoria significativa na porcentagem de atendimento pode ser obtida apenas melhorando o processo de produção, em vez de modificar a política de ressuprimento de estoque, dado que, segundo Chao, Chen e Wang (2008), as decisões de ressuprimento são limitadas pelo fluxo de caixa, que é atualizado periodicamente, após as compras e vendas em cada período.

## 5.2 UTILIZANDO DO RECURSO ‘PROCESS ANALYSER’ – SIMULAÇÃO SIMULTÂNEA DE VÁRIOS CENÁRIOS

**Estratégia** – É possível reduzir perdas de vendas alterando o tamanho do lote, ponto de reposição e estoque alvo (*target inventory level*)? Reduzir estoques, evitar perdas?

Tabela 2 - Simulações de cinco cenários

Cenários	Controle			Resposta		
	Tamanho do lote	Ponto Reposição	Estoque alvo	Total Perdas	Perdas	Estoque
1	5	100	500	189	2	436
2	10	100	400	0	0	191
3	10	100	300	0	0	170
4	10	100	200	0	0	129
5	5	100	500	189	2	436

Fonte: Altiok e Melamed (2007).

Percebe-se que lote de cinco unidades leva a perdas, enquanto lotes de 10 unidades, com diversos cenários de estoque alvo, não apresentam perdas e apresentam níveis de estoque mais baixos.

## 6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA PROSSEGUIMENTO

Ao longo do caminho deste estudo, da definição do problema, referencial teórico, modelagem, simulação e análise dos resultados, permitiu-se concluir que, de um lado, na modelagem, é essencial conhecer teorias para descrever os limites e comportamentos do sistema por meio de seus parâmetros de entrada; de outro, os resultados da simulação podem ser difíceis de ser interpretados, especialmente, em descobrir se os resultados são efeitos das inter-relações entre as variáveis do sistema ou da aleatoriedade do sistema. Colocando de outro modo, se nenhuma teoria existe, o modelo não é viável, e o sistema não é controlável.

As implicações para as práticas gerenciais e para a geração de conhecimento de cunho acadêmico-científico são:

### 6.1 IMPLICAÇÕES PARA A PRÁTICAS GERENCIAIS

Os pedidos de venda, normalmente, representam um comprometimento contratual por parte do cliente. Entretanto, dependendo do negócio em que uma empresa esteja, esse comprometimento pode não ser tão firme. Os clientes podem mudar de ideia daquilo que necessitam, mesmo depois de ter feito seus pedidos. Eles podem requerer uma quantidade maior ou menor de um item específico ou mudar a data necessária para a entrega do material. Como apresentado nos resultados dos cenários simulados, flexibilidade e serviço ao cliente são fatores competitivos importantes, já que clientes podem alterar seus pedidos de acordo com as mudanças de necessidades, tornando a gestão da carteira de pedidos complexa e dinâmica.

Diferentes tipos de empresas têm seu

próprio perfil em termos de variedade de pedidos firmes, já em carteira e pedidos previstos, mas ainda não confirmados. Uma empresa que trabalha contra pedido, como uma gráfica comercial, tende a ter maior visibilidade de seus pedidos firmes ao longo do tempo, em relação àquelas que produzem para estoque, como um fabricante de bens de consumo duráveis. Empresas que trabalham totalmente sob encomenda não compram a maioria de suas matérias-primas até que recebam um pedido firme do cliente. Outras não só podem arriscar a comprar materiais, como também não podem estabelecer meios para contratação de mão-de-obra ou equipamentos. Há algumas empresas que têm pouca certeza a respeito dos seus pedidos, no momento em que tomam a maioria de suas decisões. Por exemplo, as editoras de jornais distribuem seus exemplares às bancas em um sistema de consignação; isto é, a demanda real só lhe é evidente ao final do dia, quando podem calcular quantos jornais foram realmente vendidos.

O administrador precisa saber relacionar fatos e encorajar-se a resolver problemas. O administrador, ao ter uma melhor compreensão sobre o fenômeno, tem mais facilidade para entender os conceitos de outras disciplinas envolvidas que levam à solução do problema. A maioria dos processos observados é constituída de mudanças contínuas. Nesse sentido, a simulação pode ser usada para ajustar parâmetros-chave como mudanças em processos produtivos, descontos, baixa produtividade e outros fatores para balancear, corretamente, o nível de estoque com a demanda.

### 6.2 IMPLICAÇÕES DE CUNHO ACADÊMICO E CIENTÍFICO

A maioria das simulações de computador acomoda incerteza, incorporando distribuição de probabilidades ao modelo de negócio. As distribuições serão de um tipo estatístico conhecido, se adequado (por exemplo, normal, uniforme, de Poisson), ou serão derivadas de dados reais (empíricos). Uma vez que as variá-

veis de atividades são estruturadas ao modelo, números aleatórios são usados para simular atividades e tempos.

Utilizando-se simulações em computadores, os analistas podem condensar anos de operações hipotéticas em minutos. Isso lhes permite fazer experiências com várias alternativas de decisões com pouco ou nenhum risco. Nesse contexto, o profissional de logística pode prover suas próprias previsões e realizar experimentos para tomar decisões mais seguras, em atividades como controle de estoque, programação de embarques, planejamento de carregamento de armazéns e semelhantes.

As ferramentas de simulação têm sido utilizadas, com frequência crescente, para estudar interações internas de sistemas complexos, experimentar novos projetos ou procedimentos antes de implementá-las, identificar variáveis mais importante de um sistema e adquirir maior conhecimento sobre o processo de desenvolvimento do modelo para a melhoria do sistema. Hipóteses de como e por que certos fenômenos ocorrem podem ser avaliados por meio da compressão ou expansão do tempo, de tal modo a acelerar ou a retardar o experimento e, assim, obter indicações sobre o comportamento e a natureza do fenômeno.

Os softwares de simulação têm sofrido melhoria contínua, permitindo que as simulações sejam realizadas em tempo cada vez mais rápida. A pesquisa demonstrou que o uso de simulação para análise de estratégias de gestão de estoques e auxílio à tomada de decisão é eficiente e, com o avanço descrito no parágrafo anterior, abre um campo para os acadêmicos de desenvolvimento de novas ferramentas, aproximando-os das empresas.

Nesse sentido, são sugeridos para prosseguimento: a) aprofundar a simulação de modelos para estudos reais em contexto de cadeia de suprimentos; b) estender as análises para fatores como custos e qualidade; c) mensurar impactos de desempenho financeiro da cadeia produtiva.

Quanto às limitações do método da simulação, as principais foram o número reduzido de pessoas com habilidades em estatística e

programação de computadores. Nos cursos de administração, enquanto a estatística é considerada disciplina básica, a programação é considerada eletiva. Em alguns cursos tecnológicos em Logística e em Engenharia de Produção, há a disciplina de simulação, com o intuito de que os alunos dominem esta ferramenta de auxílio à tomada de decisão. Na China, o ensino de programação é uma tendência que se faz a partir dos 3 anos de idade (HAPPY CODE, 2017). Nos Estados Unidos, existem movimentos para que o ensino de programação seja obrigatório em escolas de ensino médio (OLHAR DIGITAL, 2015). No Brasil, há iniciativas de ensino de robótica e programação a alunos de 3 a 6 anos (PERALTA, 2015).

Por fim, espera-se que uma interação entre o mundo da geração do conhecimento e o mundo das práticas gerenciais da produção e dos negócios contribua para avanços de conhecimentos que levam às inovações industriais ou sociais, políticas internas empresariais ou que alimentem as agendas de políticas públicas de cunho trabalhistas ou sociais.

## REFERÊNCIAS

- ALTIOK, T.; MELAMED, B. **Simulation Modeling and Analysis with ARENA**. USA: Elsevier, 2007.
- ALTUG, M. S.; MUHARREMOGLU, A. Inventory Management with Advance Supply Information. **International Journal Production Economics**, v. 129, p. 302-313, 2011.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimento/Logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- BOWERSOX, D. J. *et al.* **Gestão Logística da Cadeia de Suprimentos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- CAO, M.; ZHANG, Q. Supply chain collaboration: Impact on collaborative advantage and firm performance. **Journal of Operations Management**, v. 29, n. 3, p. 163–180, 2011.

- CHAO, X.; CHEN, J.; WANG, S. Dynamic Inventory Management with Cash Flow Constraints. China: **Naval Research Logistics**, v. 55, p. 758-768, 2008.
- COASE, R. H. The nature of the firm. **Economica**, v. 4, n. 16, p. 386-405, 1937.
- EASTERBY-SMITH, M.; THORPE, R.; LOWE, A. **Pesquisa Gerencial em Administração**. São Paulo: Pioneira, 1999.
- EROGLU, C.; HOFER, C. The Effects of Environmental Dynamism on Return to Inventory Leannes. USA: **Journal of Operations Management**, v. 32, p. 347-356, 2014.
- RESTER, J. **Industrial Dynamics**. Cambridge: MIT press, 1961.
- FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.
- HALL, R. H. **Organizações: estrutura, processos e resultados**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice-Hall, 2004.
- HAPPY CODE. **Aulas de Programação para Crianças é uma Tendência na China**. Disponível em: <http://www.happycode.com.br/aulas-de-programacao-para-criancas-e-tendencia-de-ensino-na-china/>. Acesso em: 12 jan. 2017.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. **Simulation with ARENA**. USA: McGraw-Hill Series, 2004.
- MIYAGUI, P. E. **Introdução a Simulação Discreta**. São Paulo: EPUSP – Mecatrônica. Apostila, 2004.
- MORAIS, R. R. **Logística empresarial**. Curitiba: Intersaberes, 2015.
- MOURTZIS, D.; DOUKAS, M.; BERNIDAKI, D. Simulation in Manufacturing: Review and challenges. USA: **ScienceDirect**. Procedia CIRP 25, p. 213-229, 2014.
- OLHAR DIGITAL. **Ensino de Programação Pode se Tornar Obrigatório em Escolas dos EUA**. Disponível em: <http://olhardigital.uol.com.br/noticia/projeto-propoe-que-ensino-de-programacao-seja-obrigatorio-em-escolas-americanas/52075>. Acesso em: 12 jan. 2017.
- PERALTA, D. Há Alfabetização Científica e Tecnológica. **Metrópole**, São Paulo, p. A15, 2 nov. 2015.
- PIDD, M. **Modelagem Empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- PRADO, D. S. **Usando o ARENA em Simulação**. 5. ed. Nova Lima: Editora Falconi, 2014. v. 3.
- RICHMOND, B. Systems Thinking/System Dynamics: let's just get on with it. USA: **System Dynamics Review**, v. 10, n. 2/3, p. 135-157, 1994.
- SAWHNEY, R. Implementing Labor Flexibility: A Missing Link Between Acquired Labor Flexibility and Plant Performance. **Journal of Operations Management**, v. 31, p. 98-108, 2013.
- SHOCKLEY, J.; FETTER, G. Distribution Co-operation and Multi-level Inventory Management Performance: Na industry analysis and simulation. **Journal of Purchasing & Supply Chain Management**, v. 21, p. 51-63, 2015.
- SCHOOLIN8. **Tutorial ARENA (5/12)**. 2009. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FMu5kJhFm7Q>. Acesso em: 26 maio 2017.
- VACHON, S.; HALLEY, A.; BEAULIEU, M. Aligning Competitive Priorities in the Supply Chain: the role of interactions with suppliers. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 29, n. 4, p. 322-340, 2009.