



SPOLM2009

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 05 e 06 de agosto de 2009.

030/2009 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DE UMA EMPRESA DE ALIMENTOS POR MEIO DA APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Isaac Pergher

Universidade do Vale do Rio dos Sinos
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas
e-mail: eng.isaac@hotmail.com

Guilherme Luís Roche Vaccaro, Dr.

Universidade do Vale do Rio dos Sinos
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas
e-mail: guilhermev@unisinobr

Resumo

Nos últimos anos, devido aos requisitos que os sistemas de produção devem atender, ao projetar ou dimensionar um sistema produtivo, tem aumentado a importância de se estimar, *a priori*, o comportamento de gargalos, filas, índices de produtividade, entre outros. Diante disto, a simulação computacional tem-se mostrado bastante eficaz como ferramenta de auxílio no projeto de processos industriais. Neste trabalho, apresenta-se uma aplicação da simulação computacional, com o objetivo de determinar a capacidade produtiva de um processo de produção de pães, projetada para atender as exigências de um nicho de mercado consumidor. O método de condução de projetos utilizado é baseado no preconizado por Law e Kelton (1982). Os principais resultados obtidos referem-se à adequação da capacidade dos equipamentos para atendimento da demanda, respeitando requisitos técnicos de perecibilidade dos produtos, prazos de entrega e requisitos específicos de qualidade. O artigo também apresenta a metodologia desenvolvida pelo departamento de Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCPM) para atender as características da demanda diária dos produtos que constituem o mix responsável por 65% do faturamento da organização.

Palavras-chave: Simulação Computacional; Capacidade produtiva; Indústria Alimentícia.

Abstract

In recent years, due to requirements that production systems must meet, the size or design a production system, has increased the importance of estimating *a priori* the behavior of bottlenecks, queues, indexes of productivity, among others. Considering this, the computer simulation has proved quite effective as a tool to aid in the design of industrial processes. In this work, is an application of computer simulation, in order to determine the productive

capacity of a production process of bread, designed to meet the requirements of a niche market consumer. The method of executing projects used is based on the recommended by Law and Kelton (1982). The main results concern the adequacy of the capacity of equipment to service the demand, with technical requirements of spoilage of products, delivery dates and specific requirements of quality. The article also presents a methodology developed by the Department of Planning, Programming and Control of Production (PPCPM) to suit the characteristics of the daily demand of products in the mix accounts for 65% of revenues of the organization.

Keywords: Computer Simulation; capacity; Food Industry

1. INTRODUÇÃO

Hoje, o ambiente empresarial é muito mais complexo do que há décadas. Nos anos 80, os mercados eram mais estáveis e a vida útil do produto mais longa (KENDAL, 2007). Atualmente, o mercado consumidor é disputado de forma intensa pelas organizações, que utilizam estratégias voltadas a obter uma posição de destaque de sua concorrência, com o objetivo de aumentar sua participação no mercado ou garantir sustentabilidade. Segundo Henderson (1998), estratégia é a busca por um plano de ação para desenvolver e ajustar a vantagem competitiva de uma empresa. Ao desenvolver uma estratégia de produção para atender às exigências dos consumidores é necessário perceber as principais características do ambiente ou mercado e, ao mesmo tempo, entender como os conceitos e as técnicas de produção desempenham sua função na construção de sistemas produtivos eficazes e competitivos, adequados para aquela realidade (ANTUNES *et al.*, 2008). Essa temática não é diferente na indústria de alimentos. Frente à necessidade de abastecer um mercado consumidor formado por redes de supermercados, refeitórios de empresas e licitações de prefeituras (para o fornecimento de pães em escolas, creches e orfanatos) as empresas panificadoras necessitam estar aptas para atender demandas por diferentes quantidades e modelos de produtos, respeitando os prazos de entrega, garantia de qualidade e nível de atendimento compatível com as características físico-químicas dos produtos. Tipicamente formado por pequenas e médias empresas, esse segmento é representativo na geração de emprego e renda, mas não possui tradição de acesso a ferramentas de planejamento e suporte à decisão, tais como as utilizadas em Pesquisa Operacional. Um elemento de destaque é a perecibilidade e a degradação do produto *in natura*, que demanda um adequado dimensionamento da capacidade produtiva em relação aos volumes de massa a serem processados. Diante dessa realidade, a empresa que deseja atuar nesse nicho de mercado, deve ser capaz de conhecer sua capacidade de produção, para concentrar ações visando adequar o processo produtivo para cumprir os prazos de entrega e oferecer flexibilidade no atendimento das solicitações inesperadas.

Neste contexto, o presente trabalho trata da determinação da capacidade produtiva, tendo enfoque em atender as exigências de um mercado consumidor previamente estabelecido e com potencial de expansão. Esta capacidade foi dimensionada com base em uma abordagem de simulação computacional, fundamentada no método preconizado por Law e Kelton (1982). A pesquisa realizada utilizou informações técnicas do departamento de planejamento, programação, controle de produção e materiais (PPCPM) da empresa. O estudo contempla os recursos e processos destinados a atender as características da demanda dos produtos que constituem um mix de pães responsável por 65% do faturamento da organização. Outras fontes de evidências utilizadas foram: os tempos operacionais de cada etapa; o mapeamento do fluxo do processo; o quadro de equipamentos disponíveis; as possibilidades de investimento em novos equipamentos. Um modelo de simulação foi construído e, a partir das propostas de cenários analisadas, deu suporte à determinação da capacidade necessária dos

diferentes equipamentos utilizados no processo para atender a demanda do mercado consumidor.

As próximas seções apresentam um breve referencial sobre simulação computacional e a apresentação do processo estudado. Após apresentam-se detalhes sobre a coleta e o tratamento estatístico de dados, descreve-se a metodologia do PPCPM que define o tipo e quantidade do cada produto a ser produzido, o modelo de simulação com os indicadores utilizados e os cenários testados. O artigo finaliza com uma análise comparativa dos dados de obtidos em cada cenário e considerações sobre o uso da simulação em ambientes semelhantes e observações sobre limitações do estudo e lições aprendidas.

2. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Segundo Lachtermacher (2007) ao se utilizar processos de modelagem para auxílio na tomada de decisão, se obtêm as seguintes vantagens: i) os modelos forçam os decisores a tornar explícitos os objetivos; ii) forçam a identificação, o armazenamento e a análise de relacionamento das diferentes decisões que influenciam os objetivos; iii) forçam o reconhecimento de limitações; e iv) permitem a comunicação de idéias para facilitar o entendimento entre grupos de trabalho.

Neste trabalho, utiliza-se a simulação computacional como ferramenta de modelagem para auxiliar na tomada de decisão. Conforme Pidd (1998) a simulação computacional é a aplicação de um modelo como base para exploração e experimentação da realidade. Prado (1999) define simulação como uma técnica que, usando o computador, procura montar um modelo que melhor represente o sistema em estudo. Assim como em outras metodologias de modelagem, a simulação é utilizada em função do seu baixo custo, maior segurança e rapidez em comparação com a realização de experimentações na realidade.

O foco de um projeto de simulação é, conforme relatado por Pidd (1998), de tornar o modelo um veículo para interferir questões do tipo “*o que aconteceria se...?*”. Isto é, um modelo de simulação computacional está sujeito a entradas conhecidas e os efeitos destas entradas, nas saídas do sistema, são observados. A simulação computacional pode auxiliar em inúmeras tomadas de decisões. Pidd (1998) relata que a maioria dos sistemas existentes poderiam ser simulados, apesar de uma afirmação como tal requerer considerações sobre custo, conhecimento e poder computacional necessários para este intento. Contudo, para o êxito de um projeto de simulação, se faz necessário passar por três etapas durante o desenvolvimento (RODRIGUES, 1994): i) *Técnicos* – conhecimento sobre o método de simulação, modelos estocásticos de Pesquisa Operacional, teoria de probabilidade e estatística; modelar a aleatoriedade do sistema de maneira razoável; escolher o software de simulação apropriado e utilizá-lo corretamente e usar procedimentos estatísticos apropriados para interpretar os dados de saída da simulação; ii) *Gerenciais* – formular corretamente o problema e empregar boas técnicas de gerenciamento de projetos; e iii) *Precisão dos dados* – obter boa informação nos procedimentos de operação do sistema e lógica de controle e estabelecer a validade e a credibilidade do modelo.

A simulação por ser utilizada tanto para projeto e avaliação de novos sistemas, como para reconfiguração física ou mudanças no controle e/ou regras de operação de sistemas existentes. As suas aplicações têm crescido em todas as áreas, auxiliando os gestores na tomada de decisão em problemas complexos e possibilitando um melhor conhecimento dos processos nas organizações (SAKURADA e MIYAKE, 2009). Segundo Vaccaro (1999) a simulação pode ser aplicável em um grande número de situações, principalmente em sistemas em que o grau de complexidade ou até mesmo o número de alternativas de solução torna proibitiva a realização de análises exaustivas. Corroborando as afirmações referentes à aplicabilidade da simulação, apresentam-se alguns exemplos: i) Ferreira, Mendes Junior e Carnieri (2007), aplicaram a simulação computacional em sistemas portuários, mais

especificamente no complexo de carga a granel do porto de Paranaguá, com o objetivo de testar técnicas de melhorias que influenciam no desempenho global do sistema. Uma vez construído o modelo, foi possível se avaliar a eficácia de cada técnica antes mesmo de ser implantada. Desta forma, a conveniência ou não da implantação das modificações nos subsistemas puderam ser rigorosamente avaliadas e seus efeitos, no fluxo geral, foram mensurados com parâmetros numéricos; e ii) Elleuch *et al.* (2007) utilizaram a simulação computacional para estudar e validar propostas de melhorias no que tange ao problema de “quebra de máquina” em um processo de manufatura com *layout* celular.

A simulação computacional oferece amplos benefícios no contexto “*tomada de decisão e validação de idéias*”. Entretanto, existem algumas desvantagens quando se utiliza tal metodologia. Banks (1998), Centeno & Carrillo (2001) e Carson II (2004) citam as seguintes desvantagens do uso da simulação: i) necessidade de treinamento especial para desenvolver modelos; ii) os resultados obtidos podem ser mal interpretados ou até mesmo difíceis de serem analisados; iii) a fase de desenvolvimento do modelo e análise, pode consumir muito tempo e apresentar um alto custo; iv) pode ser usada inadequadamente, por exemplo, quando uma solução analítica é factível; e v) a programação de um modelo de simulação pode se tornar altamente dispendiosa e desgastante se os recursos computacionais não forem apropriados.

Com base nos relatos apresentados, optou-se por utilizar a simulação computacional como método de auxílio no dimensionamento da capacidade do processo produtivo no contexto da pesquisa relatada neste artigo

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DO CONTEXTO DE ESTUDO

Nesta seção, se apresenta o processo de produção e as informações referentes aos dados de entrada do modelo, bem como o tratamento estatístico realizado. O processo de produção de pães é composto de várias etapas, conforme apresentado na Figura 1. A produção se inicia pelos *Ingredientes* dos produtos. Para cada tipo de pão existe uma farinha pré-pronta que, no final da operação, resultará no produto que se deseja obter. Além da mistura pré-pronta, é necessária água gelada e fermento. Essa é a estrutura básica para a fabricação da massa. Contudo, alguns modelos de pão levam, na sua composição, corantes, aditivos especiais, essência e conservantes. A quantidade desses ingredientes varia de acordo com a receita formulada pela empresa. No *Amassamento*, são misturadas todas as matérias-primas necessárias para a fabricação, como: mix de farinha do tipo de pão que se deseja produzir, água gelada e fermento, nas quantidades determinadas e, se necessário, corantes, essência e conservantes. O resultado final será a massa de determinado tipo de pão.

Após o *Amassamento*, a próxima operação é denominada *Cilindragem* que consiste em passar a massa por um par de cilindros giratórios de tal modo que seja homogeneizada. Para modelos em que a divisão volumétrica (ou seja, o fracionamento em porções) é realizada manualmente, a operação cilindragem não é necessária. A *Mesa* tem a função de armazenar o montante de massa, facilitando seu manuseio na próxima operação, a divisão volumétrica. Na etapa de *Divisão Volumétrica*, divide-se a massa em porções iguais, de acordo com a quantidade necessária para cada unidade do produto. Para os modelos, nos quais a divisão volumétrica é realizada manualmente, o montante de massa é retirado da amassadeira e colocado sob a mesa para realizar a divisão. Para os modelos em que a divisão volumétrica é automatizada, o montante de massa é retirado da operação de cilindragem e colocado sob a mesa e após, inicia-se a divisão. Ao utilizar processos automatizados para a divisão volumétrica, deve-se cortar a massa já cilindrada em tiras, de largura pré-determinada. Cada tira de massa é colocada no equipamento que realiza o corte em pedaços. Nos modelos em que a divisão volumétrica é realizada manualmente, cada pedaço de massa é cortado de forma manual e com o auxílio de uma balança, controla-se o peso de massa em cada pedaço cortado.

Na etapa de *Modelagem*, cada pedaço de massa deve ser moldado para ficar com a forma do pão que se deseja obter. Nos modelos de pão nos quais a divisão volumétrica é realizada manualmente, cada pedaço cortado é colocado de forma manual na modeladora. Entretanto, para os modelos em que a divisão volumétrica é automatizada, cada pedaço cortado entra na modeladora por dispositivos que eliminam a necessidade de intervenção humana para intermediar as duas operações.

A operação de *Untar os utensílios* consiste em passar gordura na seção dos utensílios onde a massa modelada é colocada. Essa atividade deve ser realizada em todos os utensílios que vão ser utilizados nas etapas de *Estivar e Colocar nos Armários* e *Preparação de Congelados*, para que, no término da operação de assamento, os pães não se fixem nas superfícies de contato, o que dificultaria a sua remoção e ocasionaria marcas no pão, degradando a qualidade do produto. Para os utensílios utilizados na operação de congelamento, não é necessário realizar essa atividade. Na operação de *Estivar e Colocar nos Armários*, cada tipo de massa já modelada é acondicionada em utensílios como assadeiras, bandejas ou nas formas/bandejas, conforme a característica do tipo de massa. Ao completar a assadeira, bandeja ou forma/bandeja com a respectiva massa modelada, estas são colocadas em armários. Quando o cliente solicita o produto *in natura*, o processo de produção na empresa é concluído nesta etapa e o armário é enviado, então, para o cliente. O cliente realiza o restante dos processos em seu próprio estabelecimento.

Durante o processo de produção de pães, pode-se optar por congelar a massa modelada. Desta forma, um estoque de produtos congelados é formado. Este estoque ajuda a atender eventuais solicitações de entrega não programadas ou acomodar desvios do padrão de demanda. Tipicamente, a operação de *Congelamento e Acondicionamento* é realizada somente se a ordem de produção exige que a massa modelada seja congelada. O processo de congelamento é realizado depois que a operação de *Estivar e Colocar nos Armários* for concluída.

Quando é feita massa para congelar, esta recebe um percentual maior de fermento. Por causa disso, após as atividades de *Divisão volumétrica* (automática), *Modelagem*, *Estivar e colocar nos armários* é importante que o lote seja congelado imediatamente. Se o lote tiver que esperar um intervalo de tempo até realizar o congelamento e neste ambiente o lote é exposto ao calor, a massa começa a fermentar. Não é problema congelar massa fermentada, mas esta irá ocupar maior espaço na câmara fria. Ao término da operação de congelamento, a massa modelada congelada deve ser retirada dos utensílios, embalada em sacos plásticos resistentes que por fim, os pacotes devem ser colocados em caixas plásticas. As caixas devem ser armazenadas em câmaras frias com temperaturas adequadas para garantir a conservação e qualidade do produto.

A operação de *Preparação de Congelados* é realizada apenas quando as massas que estão congeladas devem ser assadas. Para isso, é necessário realizar as seguintes atividades: primeiro, deve-se retirar a massa modelada congelada da embalagem na qual foi acondicionada na câmara fria; segundo, deve-se estivar a massa congelada, utilizando os utensílios já untados e adequados ao modelo de produto e por fim, colocam-se os utensílios nos armários.

Após a operação de estivar e colocar nos armários, os armários com a massa modelada congelada deve permanecer, durante um determinado período em um espaço, no qual a temperatura ambiente irá contribuir para que a camada mais espessa do gelo sob a superfície da massa evapore. Após esta evaporação, os armários são encaminhados para a câmara de crescimento (*Fermentação*).

Na etapa de *Crescimento (Fermentação)*, os armários contendo os utensílios com massa modelada são colocados no interior da câmara e inicia-se a fermentação da massa. O tempo e calor são necessários para que o fermento faça seu papel na mistura, ou seja,

aumentando o volume da massa modelada e gerando características de leveza e aeração do pão. Ao finalizar esta operação, inicia-se o *Assamento*. Aqui, a massa fermentada é levada ao forno e deve ser retirado do forno quando apresentar uma coloração intensa e brilhante.

A etapa de *Resfriamento* consiste em um intervalo determinado de tempo para que o pão, ao sair do forno, perca calor. Após essa etapa, os pães que devem ser fatiados são enviados para a etapa de *Fatiar e embalar*. Para os modelos que não necessitam desta operação, são enviados para a etapa de *Embalagem*, em que cada tipo de pão recebe a sua embalagem apropriada, conforme sua característica.

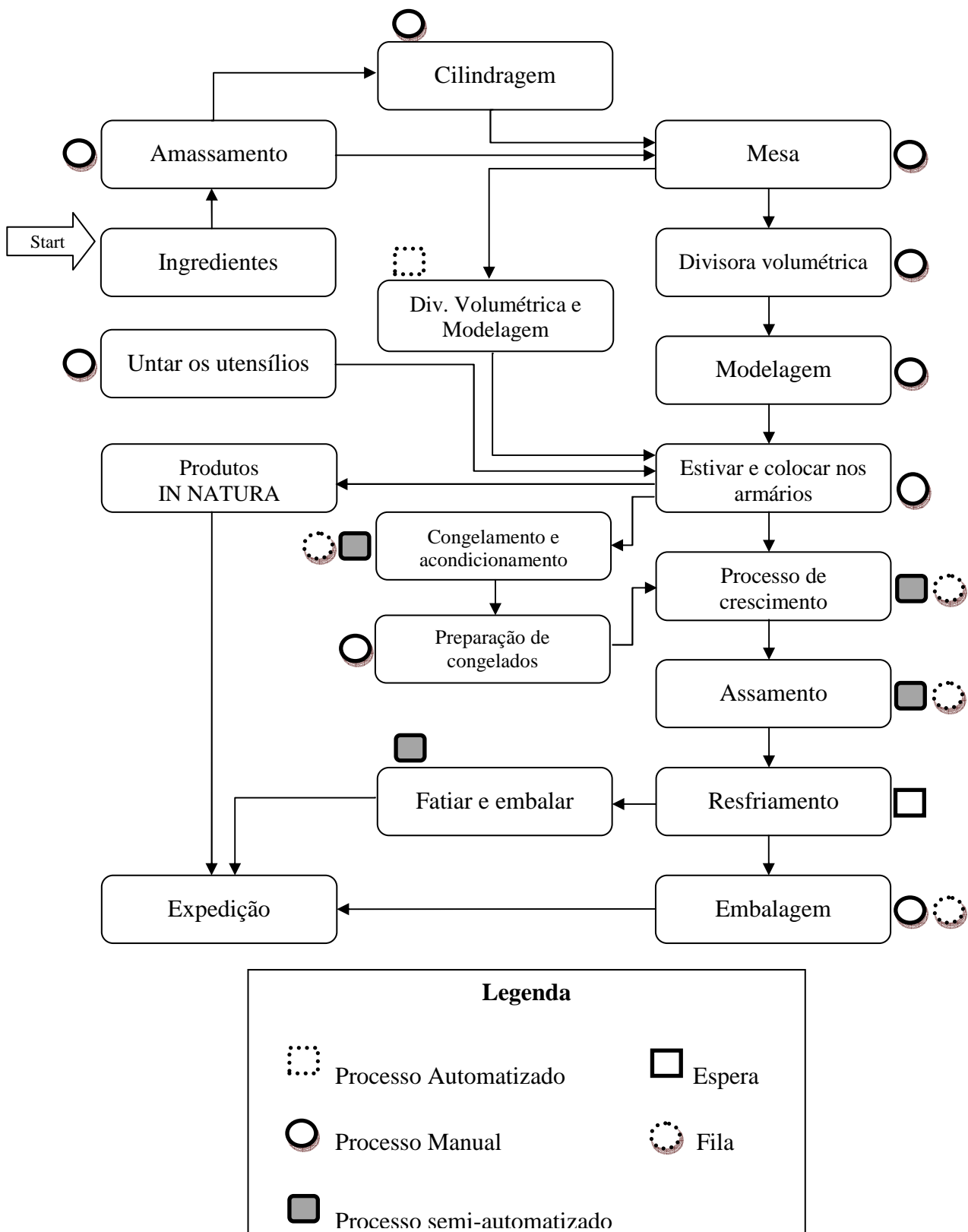


Figura 1 – Fluxo do processo de produção.

3.1. Dados de entrada do modelo de simulação

Neste estudo, a coleta dos dados de entrada do modelo de simulação foi feita posteriormente a construção do mapeamento do fluxo de valor. Conforme Rother e Shook (1999), o fluxo de valor é definido como toda a ação que agrega valor ou não, necessária para transformar matéria-prima em um produto final, passando por todos os processos envolvidos,

sendo possível, visualizar e entender o fluxo do material e da informação, enquanto o produto segue o fluxo de valor. Os dados de entrada formam o conjunto das informações necessárias para o modelo de simulação. Dentro do contexto estudado, essas informações foram divididas em: (a) dados da demanda do mix de produtos, sendo estes, definidos pelo departamento de planejamento, programação e controle da produção (PPCPM); (b) capacidades produtivas dos recursos disponíveis e a serem eventualmente adquiridos; e (c) dados específicos do processo de produção de pães, tais como tempos operacionais (manuais e não manuais) e esperas técnicas, além do fluxo de produção previamente apresentado.

Uma vez concluída a coleta dos dados específicos do processo de produção, foi realizado o ajuste das curvas estatísticas dos dados, através da técnica de ajuste do Qui-quadrado, onde foi utilizado um nível de significância igual a 5%. Segundo Law e McComas (1994), para que os dados de saída do modelo de simulação sejam factíveis, é de suma importância utilizar curvas estatísticas correspondentes aos dados coletados, determinadas através do teste Qui-Quadrado ou Kolmogorov-Smirnov.

3.2 Dados da Demanda do Mix de Produtos

Para fins do estudo realizado foram utilizados os valores das quantidades que devem ser produzidas durante uma semana típica, conforme o departamento de PPCPM da empresa. As informações de *quanto produzir e em qual dia deve-se produzir*, foram definidas com base nas restrições de entrega impostas pelo mercado consumidor de cada modelo. Esses valores compõem as *ordens de produção* do modelo de simulação.

No Quadro 1 são apresentadas as quantidades que devem ser produzidas durante a semana, para os modelos de pão ‘fatiado com tampa’ e ‘fatiado sem tampa’.

Produtos	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
Pão fatiado com tampa	528	480	480	720	768
Pão fatiado sem tampa	528	480	480	720	768
Total produto pronto	1.056	960	960	1.440	1.536

Quadro 1 – Ordem de produção do tipo Pão fatiados (em unidades).

O Quadro 2 mostra as quantidades que devem ser produzidas em cada dia durante a semana para atender a demanda, do modelo pão hot dog 30g.

Produtos	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb
Pão hot dog 30g	0	0	0	2.100	2.100	0
Pão hot dog 30g – congelado	2100	2.100	2.100	0	3.150	3.150
Total produto pronto	0	0	0	2.100	2.100	0
Total produto congelado	2.100	2.100	2.100	0	0	0
Total produto transformado	0	0	0	0	3.150	3.150

Quadro 2 – Ordem de produção Pão hot dog 30g (em unidades).

O esquema de produção de pão hot dog 30g ocorre da seguinte maneira: na segunda, terça e quarta, são produzidas e acondicionadas na câmara fria 2.100 unidades de pão hot dog 30g congelado em cada dia. Na quinta e sexta, são produzidos e acondicionados na expedição 2.100 unidades de pão hot dog 30g (produto pronto) em cada dia. O total de congelados produzidos na segunda, terça e quarta é transformado em produtos prontos no final da mesma semana em que foram produzidos. Na sexta, são transformados 3.150 unidades de pão hot dog 30g congelado em produto pronto e o saldo restante é transformado no sábado.

Para o modelo de pão hot dog 50g, o Quadro 3 mostra as quantidades a serem produzidas em cada dia da semana.

Produtos	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb
Pão hot dog 50g	0	1.800	1.800	10.200	10.200	0
Pão hot dog 50g – congelado	9.600	7.800	8.400	0	13.200	12.600
Total produto pronto	0	1.800	1.800	10.200	10.200	0
Total produto congelado	9.600	7.800	8.400	0	0	0
Total produto transformado	0	0	0		13.200	12.600

Quadro 3 – Ordem de produção Pão hot dog 50g (em unidades).

Este modelo de pão é o que apresenta maior quantidade demandada se comparado aos outros modelos estudados. O esquema de produção ocorre de forma semelhante aos demais, não sendo descrito em detalhes. Cumpre observar apenas que os produtos prontos são comercializados no dia subsequente a sua produção.

A ordem de produção semanal do modelo pão francês 50g é apresentada no Quadro 4.

Produtos	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb
Pão francês 50g cliente externo – (PP)	1.200	2.400	2.400	1.800	1.800	1.200
Pão francês 50g cliente externo – congelado	1.200	0	0	0	0	0
Pão francês 50g vendido no balcão – (PP)	1.200	1.200	1.200	600	1.200	600
Pão francês 50g vendido balcão – congelado	600	0	0	0	0	0
Total produto pronto	2.400	3.600	3.600	2.400	3.000	1.800
Total produto congelado	1.800	0	0	0	0	0
Total produto transformado	0	0	0	0	0	1.800

Quadro 4 – Ordem de produção Pão francês 50g (em unidades).

O esquema de produção ocorre da seguinte maneira: o pão francês 50g, destinado ao cliente externo (produto pronto), e pão francês 50g vendido no balcão (produto pronto) são produzidos e entregues no mesmo dia, nas quantidades apresentadas no Quadro 4. Entretanto, existe demanda de pão francês 50g para clientes externos e de pão francês 50g vendido no balcão também no sábado. No contexto produtivo, a empresa optou por não produzir pães no sábado, apenas realizando as operações para transformar massa modelada congelada em produto pronto. Logo, para atender à demanda do sábado, que é constituída por 600 pães vendidos no balcão e 1.200 pães que devem ser entregues no cliente externo, são produzidos e acondicionados na câmara fria, 1.800 unidades de pão francês 50g congelado na segunda feira, que antecede a data de entrega. Essa quantidade será transformada em produto pronto no sábado, dia da entrega.

A ordem de produção de uma semana, referente aos modelos *in natura*, é apresentada no Quadro 5.

Produtos	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
Pão francês 50g <i>in natura</i>	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Pão hot dog 50g <i>in natura</i>	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Pão hot dog 30g <i>in natura</i>	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100
Total <i>in natura</i>	9.300	9.300	9.300	9.300	9.300

Quadro 5 – Ordem de produção *in natura* (em unidades).

4. MODELO DE SIMULAÇÃO, INDICADORES UTILIZADOS E CENÁRIOS

Na construção do modelo de simulação, foi utilizado o software Micro Saint, onde foram utilizadas as informações coletadas e descritas na seção anterior. O modelo gerado representa uma semana típica do sistema produtivo. Durante simulação, cada entidade que

percorre o modelo tem a função de representar o comportamento de um lote de um determinado tipo de produto que faz parte do mix estudado. Contudo, apenas informações de tempos, demandas, etc., não são suficientes para se determinar a real capacidade do processo produtivo. Regras relativas à divisão dos lotes em unidades e ao acondicionamento em carrinhos foram necessárias para representar a complexidade do processo real. O modelo base foi validado com a participação da equipe técnica da empresa, tanto do ponto de vista de sua coerência lógica como de sua capacidade de representação do processo produtivo.

Para monitorar o comportamento do modelo frente a cada cenário, foi construído um sistema de indicadores. Os indicadores utilizados para auxiliar na análise comparativa dos cenários desenvolvidos foram: a) *horário de término da produção* – fornece o instante em que o último lote de um determinado tipo de produto sai do sistema de produção; b) *utilização de recursos* – percentual do tempo disponível utilizado em produção, conforme as diferentes jornadas de trabalho, para cada um dos recursos produtivos; e c) *estatísticas de fila* – informações estatísticas sobre o tamanho da fila e tempo de espera do lotes antes de cada operação.

Neste estudo, foram definidos três cenários, denominados A, B e C, conforme o Quadro 6.

Cenários			Proposta e descrição dos equipamentos utilizados na produção
A	B	C	
1	1	1	Quantidade de amassadeiras, para realizar a atividade de amassamento.
1	1	1	Quantidade de cilindros, para realizar a atividade de cilindragem.
1	1	1	Quantidade de amassadeiras, para a atividade de amassamento (modelos fatiados).
3	3	3	Quantidade de linhas de: divisão volumétrica (automatizada), modelagem, estivar e colocar nos armários.
1	1	1	Quantidade de linha de: divisão volumétrica (manual), modelagem, estivar e colocar nos armários (modelos fatiados).
6	4	2	Capacidade de processamento igual a “n” lotes dentro da câmara de crescimento.
4	2	1	Capacidade de processamento igual a “n” lotes dentro da câmara de congelamento.
4	3	2	Capacidade de processamento igual a “n” lotes dentro da câmara de crescimento (modelos fatiados).
4	3	2	Quantidade de Fornos. Cada forno processa um armário por ciclo.
2	2	1	Quantidade de Fornos. Cada forno processa um armário por ciclo. (modelos fatiados).
1	1	1	Quantidade de equipamentos de fatiar e embalar (modelos fatiados).

Quadro 6 – Descrição das propostas de cada um dos cenários testados.

O horário de trabalho é de 24 horas diárias de segunda-feira a sábado para os três cenários. Além da proposta de capacidade que muda conforme o cenário utiliza-se também, informações da demanda de cada um dos produtos, conforme apresentado nos Quadros: 1, 2, 3, 4 e 5. A proposta do cenário A, utiliza os valores da demanda sem qualquer alteração e a proposta de capacidade dos equipamentos é mostrada no Quadro 6. O cenário B propõe-se a testar um cenário futuro de aumento de 100% na demanda diária dos produtos Pão fatiado com tampa e sem tampa (Quadro 1). Por fim, o cenário C propõe manter as características do aumento da demanda dos produtos fatiados, descrita no cenário B e propõe um novo arranjo de capacidade para os equipamentos, conforme uma previsão de expansão proposta pelo corpo gestor da empresa.

Uma vez determinada às características de cada um dos cenários, define-se agora o número de replicações necessárias e para isso, utiliza-se o conjunto de critérios apresentados

no Quadro 7. Observe-se que o menor número de replicações representa cerca de 14,25 meses, em termos do tempo real da operação da empresa.

Descrição	Cenário A	Cenário B	Cenário C
Nível de Significância	5%	5%	5%
Erro absoluto aceitável (minutos)	3	3	4
Número de replicações iniciais	30	30	30
Desvio padrão utilizado (minutos)	11,00	11,00	16,40
Tamanho sugerido de replicações	57	57	71

Quadro 7 – Número de replicações feitas para cada cenário.

5. RESULTADOS OBTIDOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO

Nesta seção apresentam-se os resultados obtidos de cada um dos cenários, com base nos indicadores criados e no número de replicações individuais. Uma vez coletados os resultados, se faz necessária realizar uma comparação entre os valores obtidos. Para isso, utilizou-se a técnica de análise de variância, sendo aplicada para cada um dos seguintes indicadores: utilização de recursos, *lead time* e horário de término da produção.

Ao analisar o número de lotes na fila e o tempo de permanência de um lote na fila, o cenário A apresentou os menores valores, quando comparado aos outros cenários. Nas operações de: *congelamento*, *crescimento* (fatiados) e *assamento*, a proposta do cenário A promove a não ocorrência de filas nessas operações. Os valores de tempo de permanência máximo do lote na fila até ser processado, no cenário A, são aceitáveis e não prejudicam as características físico-químicas e de qualidade do produto.

No cenário B, mesmo com o aumento da demanda dos produtos fatiados, os valores médios de tamanho das filas e de tempo de permanência, em média, não representam grandes importâncias. Contudo, os tempos máximos de espera nas operações de *crescimento* e *congelamento* podem ocasionar problemas de qualidade nos lotes. Quando é feita massa para congelar, esta recebe um percentual maior de fermento. Por causa disso, após as atividades de *divisão volumétrica* (automática), *modelagem*, *estivar* e *colocar nos armários* é importante que o lote seja congelado imediatamente. Se o lote tiver que esperar um intervalo de tempo até realizar o congelamento e neste ambiente o lote é exposto ao calor, a massa começa a fermentar. Não é problema congelar massa fermentada, mas esta irá ocupar maior espaço na câmara fria. Já no cenário C ocorrem os maiores valores de tempos de espera do lote na fila e tamanho de fila. Se o lote ficar aguardando na 144,84 minutos em média para ser congelado, a massa inicia o processo de fermentação, o que gera problemas de qualidade e perdas ao processo. Com o tempo médio de espera na fila igual a 325,78 minutos assar um lote de Pão fatiado, inicia-se a formação de problemas dessa natureza.

Ao se comparar o percentual das taxas de utilização dos cenários A e B, nas operações que envolvem a linha de produção dos modelos fatiados, observa-se um aumento no percentual de utilização. Isto por causa das diferenças entre as propostas do cenário A e B, que promovem entre outras: o aumento da demanda dos modelos fatiados; e a redução de capacidade de processamento da câmara de crescimento (fatiados). Com a proposta do cenário C, a taxa de utilização teve uma pequena queda se comparada com o cenário B. No restante dos equipamentos, as médias dos cenários A e B têm valores iguais, contudo, quando comparado com o cenário C, ocorre uma diferença máxima de 0,06 %.

No cenário C, a capacidade de processamento é reduzida e a demanda a ser produzida tem o mesmo valor do cenário B, logo, a taxa de utilização deveria tender a um valor maior que as taxas dos outros cenários. Isto não ocorreu porque houve uma mudança na sistemática de trabalho do cenário C, ou seja, nos cenários A e B, quando é iniciado um turno de trabalho, igual a 1440 minutos, no final deste período toda a demanda que deveria ser feita naquele dia

é concluída e quando se inicia um novo turno de trabalho, não há quantidade a ser produzida do dia anterior e nenhum lote na fábrica está aguardando o processamento. Já no cenário C, ocorre a falta de capacidade para processar toda a demanda do dia em apenas 1440 minutos e, quando é iniciado um novo turno de trabalho, existem lotes espalhados pelas operações produtivas que não foram totalmente processados, ficando para o dia posterior. Nessa configuração, além de iniciar a produção da demanda do novo dia, dever-se-ia finalizar os lotes que faltaram ser processados. Quando inicia o turno de trabalho, independente do dia da semana, nos cenários A e B, a linha de produção está sempre vazia, ou seja, nenhum lote está parado esperando o processamento, o que ocorre de forma diferente no cenário C. Nele, durante os dias em que ocorre a produção de massa (de segunda à sexta), sobram lotes na produção de um dia para outro, ou seja, a linha de produção esta sempre cheia. No sábado, onde não é produzido nenhum tipo de massa, todo o processo trabalha para finalizar os lotes que não foram produzidos. Afirma-se a modificação da sistemática do cenário C (sig < 0.001).

A partir dos resultados obtidos, ao se realizar o comparativo entre os cenários, podem ser destacados os seguintes tópicos, apresentados no Quadro 8 para cada cenário.

Cenário A	Cenário B	Cenário C
Atende de forma superdimensionada a demanda, podendo ser também aplicada à proposta de aumento de 100% na demanda dos produtos fatiados	Melhor proposta do conjunto de equipamentos para produção dos modelos fatiados, com base no aumento da demanda	Não pode ser aplicado, pois os tempos médios e máximos de permanência na fila comprometem a qualidade
Promove a não ocorrência de filas nas operações mais importantes	Os valores médios de tempo de permanência na fila e tamanho da fila nas operações não apresentam problemas e podem ser aplicados	Não atende a necessidade de finalizar todos os lotes iniciados no dia, postergando a data de finalização para o dia subsequente
Os valores de tempo de permanência médio e máximo do lote na fila são aceitáveis e não prejudicam as características físico-químicas	Devido ao valor de tempo de permanência máxima, o lote que ficar aguardando irá iniciar o crescimento da massa	Devido à falta de capacidade necessita de um tempo utilizado maior que os outros cenários para finalizar as tarefas atrasadas

Quadro 8 – Aplicabilidade dos cenários.

Podem ser destacadas as seguintes vantagens: i) foi possível determinar o atual quadro de máquinas de forma precisa e mensurar importantes informações como: qual é o gargalo do sistema, em quais operações ocorrem filas, tempo de permanência do lote na fila em cada operação, taxa de utilização dos recursos, tempo de atravessamento e qual é o horário que a produção finaliza o ultimo lote no sábado; ii) a partir da definição do cenários, a empresa pode planejar precisamente o investimento necessário para construir o sistema produtivo; e iii) possibilita o planejamento de vendas, pois conhece a sua capacidade de atendimento as necessidades dos clientes.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve o objetivo de determinar a capacidade produtiva de um processo produtivo de panificação para atender às necessidades de alteração da demanda do mix de produtos. Por meio de uma abordagem de simulação computacional, foram construídos três cenários para avaliar os possíveis impactos nos indicadores, conforme a proposta de capacidade e demanda que cada cenário apresenta. A aplicação de simulação no contexto estudado permitiu observar o potencial de redução dos riscos associados à tomada de decisão, principalmente em situações em que grandes volumes de recursos serão necessários.

O esforço para o desenvolvimento do modelo apresentado neste estudo não restringe-se ao ora apresentado, pois ainda permitirá à empresa criar outros cenários, com o intuito de avaliar a capacidade de produção a partir de características como: aumento da demanda e entrada de novos itens no mix de produtos, por exemplo.

Deve-se destacar ainda que seja uma aplicação, o potencial de uso de simulação é inexplorado em diversos contextos brasileiros, principalmente em pequenas e médias empresas e que estudos deste tipo contribuem academicamente na geração de casos de análise, bem como para a divulgação de métodos criteriosos de suporte à decisão.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, Junico *et al.* **Sistemas de Produção: Conceitos e Práticas para Projeto e Gestão da Produção Enxuta**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- BANKS, Jerry. **Handbook of Simulation** – Principles, methodology, advances, applications and practice. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- CARSON II, J. S. **Introduction to modeling and simulation**. In: Winter Simulation Conference, 2004. Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01371297>>. Acesso em: 31 janeiro 2008.
- CENTENO, M. A.; CARRILLO, M. **Challenges of introducing simulation as a decision making tool**. In: Winter Simulation Conference, 2001. Disponível em: < <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1517190>>. Acesso em: 20 maio 2006.
- ELLEUCH, M; MASMOUDI, F; BEN BACHA, H; MAALEJ, A.Y. **Simulation Manufacturing Cells with unreliable machines**. Tunísia, 2007. Disponível em <http://www.ijssimm.com/Full_Papers/Fulltext2007/text6-1_5-12.pdf>. Acesso em: 20 janeiro 2009.
- FERREIRA, Marcos Antonio Masnik; MENDES, Ricardo Junior; CARNIERI, Celso. **Análise de desempenho de sistemas portuários usando simulação matemática e estatística**. Revista Produção on line, Florianópolis - SC, ISSN 1676 - 1901 / Vol. 7/ Num. 3/ Nov. 2007. Disponível em: < <http://producaoonline.org.br/index.php/rpo/article/view/65/65>>. Acesso em: 20 setembro 2008.
- HENDERSON, Bruce D.; Origens da estratégia. In: MONTGOMERY, Cynthia A. (ORG); PORTER, Michael E.; **Estratégia: a busca da vantagem competitiva**. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.
- KENDAL, Gerald, I. **Visão Viável** – Transformando Faturamento em Lucro Líquido. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- LAW, Averill M.; KELTON, David W. **Simulation modeling and analysis**. 1. ed. Graw-Hill Book Company, 1982.
- LAW, Averill M; MCCOMAS, Michael G; VINCENT, Stephen G. **The crucial role of input modeling in successful simulation studies - Industrial Engineering**; Jul 1994; 26, 7; ABI/INFORM, Global.
- LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na tomada de decisão**. Rio de Janeiro: Elsevier, (2007).
- PIDD, Michael. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- PRADO, Darci Santos do. **Teoria das filas e da simulação**. 2. ed. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1999.
- ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar** – Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.
- RODRIGUES, Luis Henrique. **Developing an approach to help companies synchronize manufacturing**. Lancaster University. Lancaster : s.n., 1994. Tese de Doutorado.
- SAKURADA, Nelson; MIYAKE, Dario I. **Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços**. Revista Gestão & Produção, São Carlos - SP, v. 16, n. 1, p. 25-43, jan.-mar. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v16n1/v16n1a04.pdf>>. Acesso em: 16 abril 2009.
- VACCARO, Guilherme L.R. (1999). **Modelagem e Análise de Dados em Simulação**. Exame de qualificação PPGC – UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.