

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

MARCELA CAROLINA RODRIGUES DA SILVA

**OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE LINGUIÇAS FRESCAIS
UTILIZANDO O *SOFTWARE* ARENA®**

PATOS DE MINAS

2017

MARCELA CAROLINA RODRIGUES DA SLIVA

**OTIMIZAÇÃO DE UM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE LINGUIÇAS FRESCAIS
UTILIZANDO O *SOFTWARE* ARENA®**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia de
Alimentos, da Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Engenharia de
Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Danylo de Oliveira Silva

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Vivian Consuelo
Reolon Schmidt

PATOS DE MINAS

2017

AGRADECIMENTOS

Certamente não poderia começar a agradecer se não fosse a Deus. Ele foi o responsável por chegar aqui, por iluminar meus caminhos e segurar minha mão em todos os momentos difíceis, além de me agradecer com tantos momentos bons.

Agradeço imensamente o apoio da minha família. Aos meus pais Agostinho e Celsuita agradeço por sempre me motivarem a estudar, por sempre me apoiarem nos meus sonhos e por sempre estarem presentes quando eu precisava. À minha irmã Mônica, agradeço por todas as vezes que me ajudou sendo financeiramente e intelectualmente, você foi fundamental por eu estar aqui hoje.

Aos meus amigos, agradeço por entenderem minhas ausências. Vocês tornaram essa caminhada mais fácil. Poder compartilhar com vocês tantos momentos divertidos e partilhar todos momentos complexos foi indescritível. Vocês estarão sempre em meu coração, mesmo que estejamos separados por milhares de quilômetros.

Aos professores tenho muito a agradecer. Com certeza, o que vocês nos transferiram foi muito mais que o conteúdo de Engenharia de Alimentos. Em nome destes, gostaria de agradecer aos membros da banca Prof. Jader e Prof.^a Marta por terem sido tão compreensíveis com a datas. Também, agradeço ao meu orientador Prof. Danylo por entender minhas ausências e ser tão prestativo quando precisei de seu apoio.

Infinitamente, gostaria de agradecer à minha professora, orientadora, coorientadora e amiga Vivian Schmidt. Todos esses cinco anos de convivência aprendi muito com você. Serei eternamente grata por todos os ensinamentos e conselhos que você me deu. Com certeza, os levarei por toda minha vida, assim como você, no meu coração.

Também sou grata a todas as pessoas que passaram pela minha vida neste período e se doaram um pouquinho para que isto pudesse acontecer. Assim, agradeço desde as meninas da cantina aos técnicos-administrativos.

Muito obrigada!!!

Amor é o que se faz, não o que se sente.

Hunter, J. C.

RESUMO

O consumo de carne suína tem aumentado no Brasil nos últimos anos. No ano de 2016, houve recorde de abate de suínos. As exportações também aumentaram e movimentaram a economia brasileira. No entanto, a grande maioria da produção de carne suína é processada, o principal produto produzido é a linguiça. Contudo, o processo produtivo é bastante arcaico, mesmo em grandes indústrias, logo, melhorias no processo produtivo são complicadas por não haver etapas automatizadas. Neste intuito, o uso da modelagem e simulação de processos para otimização de linhas tem sido vastamente utilizado. A simulação de processos tem um papel fundamental na análise e compreensão de sistemas complexos; pois é possível recriar o sistema real em um ambiente controlável e, assim, compreender, manipular e testar seu comportamento de forma segura e com custos inferiores aos que seriam necessários para reprodução do sistema real. Além de reduzir o tempo necessário para análise. Existem muitos *softwares* para simulação de processos, dentre eles, o Arena[®], que é um *software* de simulação integrado a um ambiente gráfico. Ele conta com recursos para modelagem, desenho, animação, análise estatística e análise dos resultados de processos em geral. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi otimizar a linha de linguiça frescal de um frigorífico utilizando o *software* Arena[®]. Primeiramente, observou-se o processo para se identificar os gargalos e pontos de estudo. Coletou-se o tempo de embutimento, pesagem e selagem, pois estes eram os pontos que mais dispendiam tempo no processo. Enfim, determinou-se que a selagem era o gargalo da produção, pois era somente um equipamento e um colaborador para selar todas as embalagens. Com isso, foi simulado um cenário em que se tinha menos uma balança, o qual foi comparado ao cenário atual. O resultado da simulação mostrou que a diminuição de uma pessoa na balança aumenta o tempo de processo do produto, porém, não interferiu na produtividade uma vez que a capacidade da embutideira é limitada a 24 toneladas. Neste sentido, confirma-se a importância do uso da simulação para tomada de decisões em otimização de processos, visto que readequação do número de colaboradores da linha reduz os custos da empresa.

Palavras-chave: Otimização. Simulação. Linguiça. Arena.

ABSTRACT

The consumption of pork in Brazil has increased considerably over the past years. In 2017, there was pig slaughter record. The exportation also has increased and contributed to the Brazilian economic development. However, most of the pork production is processed. The main product is sausage. Nevertheless, the production process still archaic, even in big industries. Thus, manufacturing process improvement became a complicated issue by the fact that there are no automated steps. In this regard, the modeling and simulation process has been widely used for industrial process optimization. The simulation process has a fundamental role for analysis and understanding of complex systems. Because it is possible to recreate the real system in a controllable environment, thereby, to understand, manipulate and test its behavior in a safe way with costs inferior to those that would be necessary for reproduction of the real system. There are several software options for process simulation. Arena[®] is a process simulation software integrated into a graphical environment. It has resources for modeling, drawing, animation, statistical analysis, and general process analysis results. Therefore, the goal of this study was to optimize a sausage type frescal line of a food industry using Arena[®] software. Firstly, the process was observed to identify bottlenecks and study points. It was collected the inlay, weighing and sealing time, because they were the points that spent most of the time in the process. Finally, it was determined the sealing was the production bottleneck because it was only one equipment and one collaborator to seal all the packages. Therefore, it was simulated a scenario where there was one less worker in weighing process and compared it to the current scenario. The simulation result showed that decreasing a person in the scale increased the process time of the product, however, it did not interfere in productivity since the capacity of the inlay is limited to 24 tons. Therefore, it was confirmed the importance of using simulation for decision-making in process optimization, since re-adjustment of the number of employees of the line reduces the costs of the company.

Keywords: Optimization. Simulation. Sausage. Arena.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução do volume de abate	13
Figura 2 - Fluxograma de produção de linguiça frescal	16
Figura 3 - Preparo da matéria-prima.....	18
Figura 4 - Preparo da pré-mistura.....	18
Figura 5 - Processo de mistura	19
Figura 6 - Processo de embutimento	19
Figura 7 - Processo de pesagem e selagem	20
Figura 8 - Página inicial do software Arena®	25
Figura 9 - Layout.....	31
Figura 10 - Fluxograma do processo estudado	31
Figura 11 - Gráfico de dispersão do tempo de embutimento	33
Figura 12 - Gráfico de dispersão do tempo de pesagem.....	33
Figura 13 - Gráfico de dispersão dos dados de selagem.....	34
Figura 14 - Boxplot	35
Figura 15 - Modelo computacional	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Destino da carne suína exportada pelo Brasil	14
Tabela 2 - Tempo para pesagem de 5 kg de linguiça por turno.....	27
Tabela 3 - Tempo médio para pesagem das embalagens.....	27
Tabela 4 - Tempo gasto na pesagem de 5 kg de linguiça	28
Tabela 5 - Análise exploratória dos dados coletados	32
Tabela 6 - Identificação de outliers	35
Tabela 7 - Distribuições de Probabilidade.....	36
Tabela 8 - Resultados de Simulação dos cenários 1 e 2	37
Tabela 9 - Custo com mão-de-obra	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos do trabalho	12
1.1.1	Objetivos específicos	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	Agronegócio da carne suína	13
2.2	Aspectos da indústria de embutidos	14
2.3	Processamento de linguiça frescal	15
2.4	Processo ilustrativo da produção de linguiça frescal	17
2.5	Otimização de processos industriais	20
2.6	Simulação de processos.....	22
2.7	Simplificação de modelos matemáticos	24
2.8	Arena®	24
2.9	Uso da simulação de processos na otimização da linha de produção de linguiças frescas	26
3	METODOLOGIA	29
3.1	Descrição do local do experimento	29
3.2	Coleta de dados	29
3.3	Análise dos dados.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	Estudo de caso	30
4.2	Coleta e análise estatística dos dados	32
4.3	Tratamento estatístico dos dados	34
4.4	Simulação computacional	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS	40
	APÊNDICE A	42

1 INTRODUÇÃO

Quando o mercado é analisado de forma simplificada, ele pode ser caracterizado como o ponto de encontro entre o consumidor e o vendedor. Entretanto, o mercado pode ser muito mais complexo, pois depende de muitas variáveis que nem sempre são controláveis (OLIVO, 2008).

Neste sentido, nos últimos anos, foi possível perceber uma verdadeira mudança nos hábitos alimentares da população. A inserção das mulheres no mercado de trabalho influenciou na menor disponibilidade de tempo para comprar um alimento e prepará-lo em casa. Logo, este movimento, assim como o aumento do poder aquisitivo da população, foi importante para aumento do consumo de produtos industrializados. Estes produtos surgem como uma excelente alternativa para quem procura por rapidez e qualidade. Além disto, foram responsáveis pelo aumento *per capita* do consumo de proteína animal (OLIVO, 2008).

O Brasil é o quarto maior produtor de carne suína do mundo. A sua produção só é inferior à produção da China, da União Europeia e dos Estados Unidos da América, respectivamente. A produção brasileira corresponde a quase 3% da produção mundial. Porém, o consumo de carne *in natura* é baixo, uma vez que 89% da produção de carne suína destinada ao mercado interno é processada. Os principais produtos produzidos são linguiça, salsicha e mortadela (HUE, 2011).

Contudo, a produção de linguiça frescal ainda é muito arcaica, mesmo em grandes indústrias. Seu processo de preparação é basicamente composto pela moagem da carne e da gordura, seguida pela adição de condimentos e temperos, e pela posterior mistura, embutimento e embalagem (SILVA; COLOMBO; BACHINI, 2016). Assim, devido ao baixo grau de automação do processo produtivo e à má distribuição de mão-de-obra, maquinário e insumos, existem grandes falhas na produtividade e, logo, no lucro da empresa.

Neste sentido, a simulação de processos é uma ferramenta eficaz para o estudo de sistemas. A simulação também se torna essencial na tomada de decisões dentro das organizações. Uma vez que ela permite ao usuário criar e testar experimentos e com isso conseguir prever o que acontecerá sem ter que fazer qualquer alteração no ambiente físico. Com isso, é possível se otimizar o processo de forma rápida e com baixo custo (LIMA; SOUZA; ARAÚJO, 2006).

Existem muitos *softwares* capazes de realizar simulação como Arena, Automod, Extend, Microsaint, Promodel, Simple++, ModSim e VisSim. O Arena® é um software bastante utilizado, ele fornece uma interface gráfica que permite a elaboração de um modelo de

simulação. Além disso, possui uma versão gratuita para estudantes (LIMA; SOUZA; ARAÚJO, 2006).

Devido à qualidade dos resultados obtidos, o uso da simulação para otimização de processos tem sido crescente. Wachholz (2013) avaliou a otimização do processo de produção de pão francês, conseguindo reestruturar o quadro de funcionários e aumentar em 7 toneladas/dia a produção de pães. Já Gonçalves (2014) simulou a dinâmica operacional na linha de esquartejamento em uma indústria de abate suíno, concluindo que a alocação de funcionários, recursos e materiais que a empresa utilizava era o mais recomendável possível.

1.1 Objetivos do trabalho

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade do processo de produção de linguiça fresca, através de análise de dados, tempos e arranjo de colaboradores de uma empresa da região do Alto Paranaíba.

1.1.1 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, destacam-se:

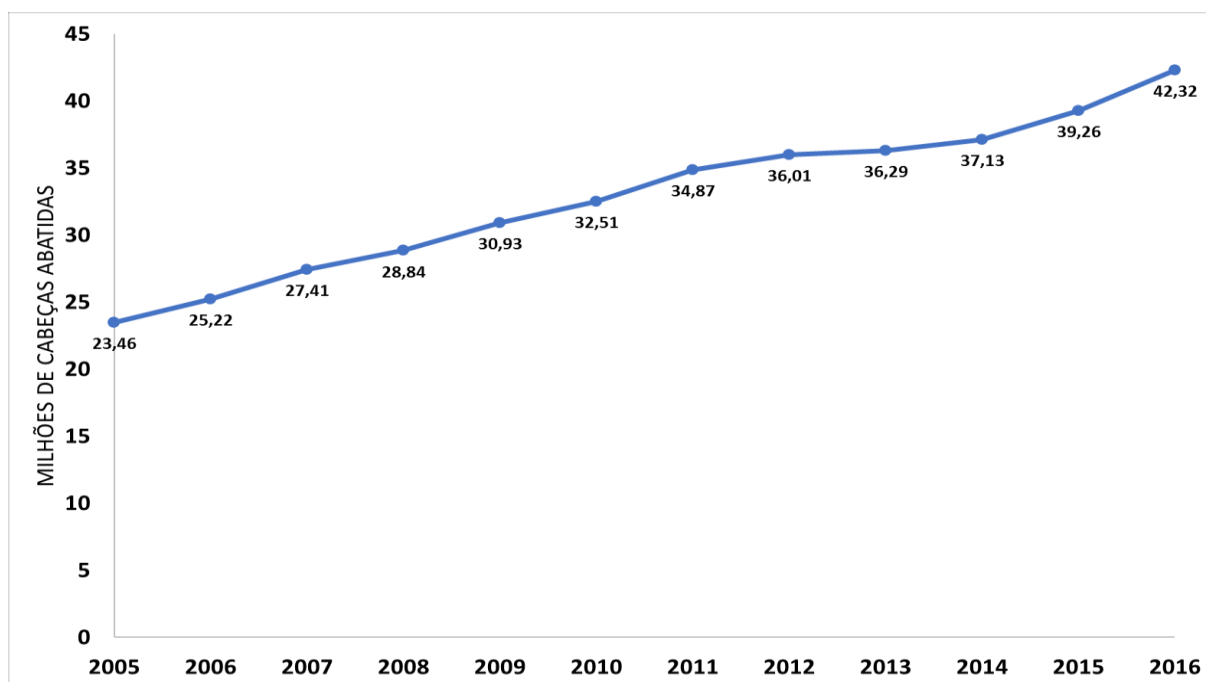
- Aumentar a interação entre a Universidade e a iniciativa privada, aplicando os estudos desenvolvidos na instituição a um problema real enfrentado pela empresa;
- Explorar o *software* Arena® e utilizá-lo no estudo de otimização;
- Utilizar os resultados do estudo de otimização para propor alterações no processo produtivo de linguiça fresca da empresa estudada, utilizando modelos de simulação como ferramenta de estudo para melhoria do mesmo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Agronegócio da carne suína

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o ano de 2016 se encerrou com número recorde de abate de suínos, como é ilustrado pela Figura 1. Neste ano foram abatidos 42,32 milhões de cabeças de suínos, o crescimento foi de 7,8% em comparação ao ano anterior. O peso acumulado das carcaças no período foi recorde (3,71 milhões de toneladas) e quando comparado ao fechamento de 2015, o aumento foi de 8,2% (BRASIL, 2017).

Figura 1 - Evolução do volume de abate



Fonte: BRASIL (2017).

Este aumento de produção também foi responsável pelo aumento de 33% do volume exportado e de 15,5% do faturamento em dólares quando comparado com os valores de 2015. No entanto, pela diminuição do preço internacional em relação ao ano anterior, o faturamento de 2016 cresceu em magnitude menor que o volume exportado. O país que mais importou a carne suína em 2016 foi a Rússia, líder do ranking de 2015. No entanto, a participação russa teve queda comparada com o ano anterior. Porém, houve crescimento das exportações para China, conforme é apresentado na Tabela 1 (BRASIL, 2017).

Tabela 1 - Destino da carne suína exportada pelo Brasil

Destino das exportações de carne suína <i>in natura</i>	2015		2016		Participação (%) 2015/2016
	Toneladas	Participação	Toneladas	Participação	
Rússia	236.527	50,0%	236.892	37,7%	↓
Hong Kong	84.568	17,9%	108.986	17,3%	↓
China	5.225	1,1%	87.560	13,9%	↑
Cingapura	28.028	5,9%	32.622	5,2%	↓
Uruguai	21.029	4,4%	27.505	4,4%	-
Argentina	10.616	2,2%	24.402	3,9%	↑
Chile	8.162	1,7%	23.079	3,7%	↑
Angola	25.732	5,4%	21.041	3,3%	↓
Venezuela	9.949	2,1%	8.518	1,4%	↓
Geórgia	7.288	1,5%	8.468	1,3%	↓
Emirados Árabes Unidos	4.795	1,0%	7.339	1,2%	↑
Demais destinos	30.793	6,5%	42.243	6,7%	↑
Total	472.712	100%	628.655	100%	-

Fonte: Adaptado de BRASIL (2017).

O volume exportado representa apenas 15,2% da produção brasileira de carne suína. O volume destinado ao mercado interno, apenas 11% é comercializado *in natura* (FRANCISCO TURRA, 2017). O restante, 89%, corresponde ao comércio da carne suína processada. Desta parcela, o volume de linguiça, salsicha e mortadela representa 81,6% do volume total de carne processada (HUE, 2011).

O mercado de carne suína processada cresceu em taxas superiores ao Produto Interno Bruto (PIB) dos últimos anos. O PIB brasileiro acumulou uma alta de 38,8%, de 2000 a 2008. Neste mesmo período, o volume de derivados de carne suína vendidos aumentou 67,6%. Segundo estimativa de Hue (2011), o consumo de carne suína processada era de 8,6 kg/ano/habitante.

A salsicha e a linguiça são os produtos com maior representatividade de vendas. Em geral, os produtos embutidos são consumidos durante as refeições, principalmente no almoço, já os produtos considerados frios (presunto, apresuntado) são consumidos em lanches (HUE, 2011).

2.2 Aspectos da indústria de embutidos

Nos primórdios da humanidade, o homem percebeu que a carne adquiria um sabor mais agradável e uma maior vida útil se fossem adicionados a ela ervas aromáticas e sal, também, se depois de embutidas elas fossem dessecadas. Acredita-se que estes procedimentos de elaboração de embutidos iniciou-se em 1500 a.C. no Mediterrâneo, onde o clima era favorável para a maturação. No entanto, a primeira referência documental foi no XVIII da Odisséia, em 900 a. C. (PEREDA et al, 2007).

Atualmente a fabricação de produtos cárneos embutidos representa uma fatia importante na economia da indústria alimentícia. Além disso, o processamento destes produtos não é visto somente como uma forma de estender a vida útil da carne, mas sim como um processo de transformação que é capaz de oferecer ao consumidor uma vasta diversidade de alimentos (PEREDA et al, 2007).

2.3 Processamento de linguiça fresca

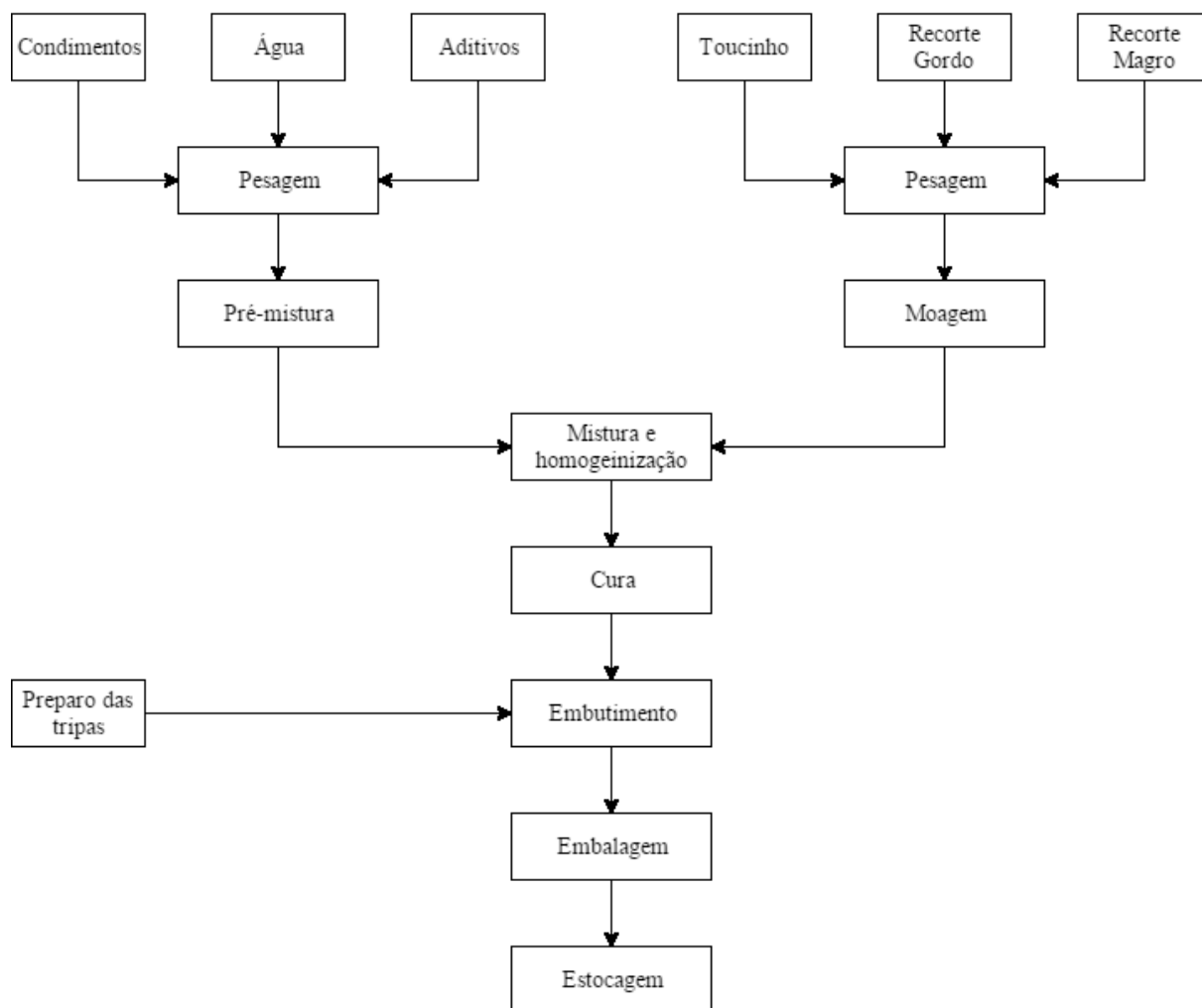
A Instrução Normativa nº 4/2000 define linguiça como um produto cárneo industrializado obtido de animais de açougue. Pode ser adicionado ou não de tecidos adiposos e ingredientes. Para o embutimento, podem ser utilizados envoltórios naturais ou artificiais e deve ser submetido ao processo tecnológico adequado (BRASIL, 2000).

A linguiça fresca pode ser produzida de forma artesanal ou industrial. Ela pode ser armazenada sob resfriamento ou pode ser congelada (ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE, 2009). Um fluxograma de produção de linguiça fresca é ilustrado na Figura 2.

A produção de linguiça fresca é relativamente simples. A seleção dos ingredientes que serão utilizados no preparo é muito importante, visto que a qualidade e a proporção destes ingredientes interferem diretamente nas características organolépticas do produto final (PEREDA et al, 2007).

A matéria-prima fundamental para a produção de linguiça é a carne suína. No entanto, nos últimos anos, a indústria tem inovado e tem inserido carnes de outros tipos de animais. Para elaboração de linguiça fresca, obtém-se um rendimento maior se a matéria-prima utilizada estiver fresca, pois ela apresenta uma maior capacidade de retenção de água e maior quantidade de proteína miofibrilar livre. Contudo, para produção em larga escala, o uso de matéria-prima recém-abatida não é muito utilizado. Assim, as indústrias costumam fazer o congelamento rápido da matéria-prima e, então, a utiliza sem descongelar (PEREDA et al, 2007).

Figura 2 - Fluxograma de produção de linguiça frescal



Fonte: Adaptado de Almeida (2005).

O processo de cura da matéria-prima é importante para melhorar o sabor do produto e, também, para reduzir o desenvolvimento microbiano. Este processo é realizado acrescentando à carne alguns agentes de cura; os mais utilizados são: cloreto de sódio, açúcar, ascorbatos, nitritos/nitratos e fosfatos (PEREDA et al, 2007).

O cloreto de sódio é o composto indispensável para todas as misturas de cura. Além de potencializar o sabor do produto, ele tem a capacidade de desidratar o produto e modificar a pressão osmótica, assim inibindo o crescimento de microrganismos. O cloreto de sódio também melhora a textura de produtos cárneos, uma vez que o sal aumenta a solubilização das proteínas miofibrilares; assim, durante a cocção o produto não perde a textura (PEREDA et al, 2007).

O açúcar é utilizado para moderar o sabor salgado e também para diminuir a umidade do produto, logo, reduzindo o desenvolvimento de microrganismos. O açúcar também

influencia na cor da carne, visto que estabiliza o Fe^{2+} e, com isso, desenvolve pigmentos desejáveis. Ele também é importante para redução de nitratos e nitritos (PEREDA et al, 2007).

Os nitratos e nitritos têm funções muito importantes na cura da carne. Eles têm o papel de estabilizar a cor, de desenvolvimento do aroma de carne curada, de inibir o crescimento de bactérias, principalmente o *Cl. botulinum* e de retardar a rancificação (PEREDA et al, 2007).

O ácido ascórbico e os fosfatos têm um efeito sinérgico na prevenção da oxidação de carnes curadas. O ácido ascórbico também é responsável pelo desenvolvimento e estabilização da cor da carne. Já os fosfatos aumentam a capacidade de retenção de água (PEREDA et al, 2007).

Após a cura, a massa é embutida. O processo de embutimento consiste em introduzir a massa na tripa. As embutidoras mais utilizadas são contínuas e trabalham a vácuo. A retirada do ar é importante pois conserva a cor, a consistência firme e ainda reduz a reações de oxidação lipídica. Além disso, a ausência de ar entre a massa e a tripa confere uma melhor aparência ao produto (PEREDA et al, 2007).

A tripa utilizada para o embutimento é muito importante na rentabilidade do processo. Embora o uso tripas artificiais facilite a automatização do processo, sua aparência artificial limita seu uso em linguiças frescas. Neste sentido, as indústrias utilizam tripas naturais provindas do trato intestinal de suínos, principalmente.

Sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD) são comumente utilizados para embalagem de linguiças frescas. É indispensável o uso frio para conservação do produto, assim, elas devem ser armazenadas congeladas ou resfriadas, temperatura máxima de 4°C (PEREDA et al, 2007).

2.4 Processo ilustrativo da produção de linguiça frescal

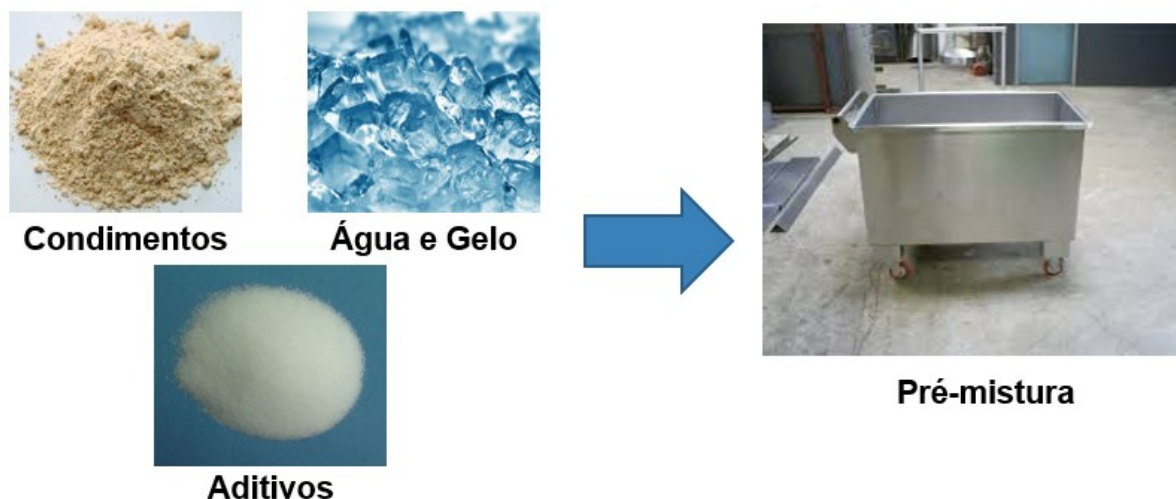
As figuras abaixo ilustram o processo produtivo da linguiça frescal. A Figura 3 mostra o preparo da matéria-prima (MP). Nesta etapa, as carnes que serão utilizadas, que podem ser recorte magro e recorte gordo, são levadas ao moedor junto com a gordura (toucinho). A proporção de recorte magro, recorte gordo e toucinho deve atender aos padrões exigidos pela Instrução Normativa nº 4/2000. Pela legislação, a linguiça frescal deve ter no máximo 30% de gordura, no máximo 70% de umidade e no mínimo 12% de proteína (BRASIL, 2000).

Figura 3 - Preparo da matéria-prima



A Figura 4 ilustra a pré-mistura dos condimentos e aditivos que serão se juntar à MP no misturador. Os condimentos são responsáveis pelo sabor, os aditivos pela conservação, a água para solubilização e o gelo para aumentar as propriedades emulsificantes.

Figura 4 - Preparo da pré-mistura



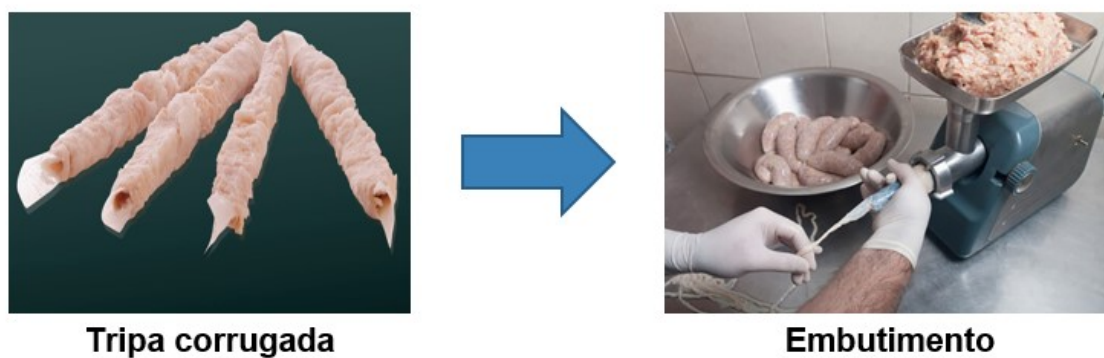
No processo de mistura, ilustrado pela Figura 5, a MP e a pré-mistura são levados a um misturador, geralmente à vácuo, e ficam por 8 minutos. Após este tempo, a mistura fica com uma aparência uniforme e consistência de uma massa. A massa pode passar ou não pelo processo de cura.

Figura 5 - Processo de mistura



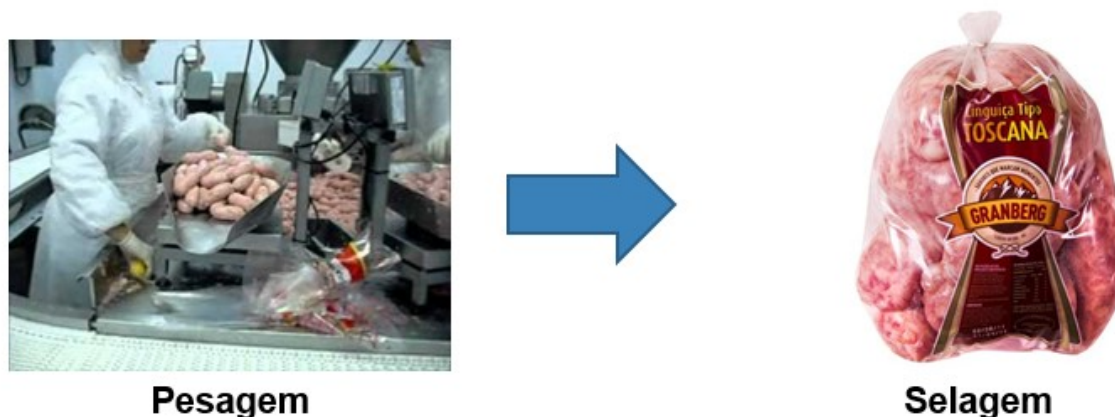
A massa curada ou não é levado para a embutideira. No processo de embutimento, Figura 6, a massa é colocada dentro da tripa. A tripa pode ser comprada corrugada ou pode ser corrugada em um equipamento paralelo ao processo. Logo, após ao embutimento, já se tem o produto, a linguiça.

Figura 6 - Processo de embutimento



A linguiça é então pesada e embalada, Figura 7, a embalagem pode ser selada à vácuo, termoselada ou colocado um anel metálico. Tudo depende do grau tecnológico do processamento.

Figura 7 - Processo de pesagem e selagem



2.5 Otimização de processos industriais

Devido à abertura econômica ocorrida nos últimos anos, muitos setores industriais foram fortemente incentivados a melhorar a qualidade de seus produtos e a sua produtividade para se manterem no mercado. Entretanto, os processos industriais, em sua grande maioria, são realizados em várias etapas, seja em indústrias de alimentos, farmacêuticas ou químicas. Logo, para tais processos, o interesse sempre é determinar o “processo ótimo”, ou seja, a melhor a forma de trabalhar para que se tenha uma maior produtividade com o menor custo (VIEIRA; BELLO, 2006).

Em processos industriais é comum a existência de muitos fatores ou variáveis que afetam a qualidade global do produto final, assim, encontrar o “processo ótimo” torna-se uma preocupação da gestão destes processos (SARAMAGO et al., 2008).

Neste sentido, as técnicas de otimização buscam a melhor configuração para problemas que envolvam maximização ou minimização de grandezas mensuráveis. Nos últimos anos, a otimização de processos tem sido utilizada para encontrar (SECCHI, 2001):

- a melhor configuração de máquinas para programação de produção;
- a melhor integração de fabricação, inventário e distribuição;
- os melhores *layouts* e capacidades para projetos;
- a melhor carteira de investimentos de planejamento financeiro;
- a melhor utilização dos empregados para o planejamento de trabalho;
- a melhor localização das instalações para distribuição comercial;
- o melhor cronograma de operação para o planejamento de energia elétrica;

- o melhor conjunto de políticas de tratamento na gestão de resíduos.

Diante disso, a otimização pode e tem sido utilizada em diferentes níveis nas mais variadas organizações (APRIL et al., 2005). Segundo, April e colaboradores (2005), em uma indústria de alimentos, três níveis têm sido frequentemente otimizados, sendo eles:

- gerencial;
- projeto de processo e especificação de equipamento;
- operação de plantas.

Segundo Secchi (2001), em processos de otimização, os problemas recebem uma nomenclatura especial, em que:

- **Função objetivo:** é a função matemática que se deseja encontrar o máximo ou o mínimo.

- **Variáveis de decisão:** são as variáveis independentes que aparecem na função objetivo e nas restrições, ou seja, correspondem ao grau de liberdade do sistema. A solução do modelo fornece os valores dessas variáveis.

- **Restrições:** são os limites impostos ao sistema ou estabelecimentos pelas leis naturais que governam o comportamento do sistema, a que estão sujeitas as variáveis de decisão. Estas restrições podem ser de igualdade (equações) ou de desigualdade (inequações).

- **Região de busca:** é a região do espaço definido pelas variáveis de decisão, delimitada pelas restrições, em cujo interior ou fronteira se localiza o ótimo da função objetivo.

Assim, os fatores se tornam variáveis de decisão e os dados são usados para modelar a função objetivo e as restrições do processo. Considerando que o objetivo é descobrir quais fatores têm o maior efeito sobre uma resposta, a otimização busca a combinação de níveis de fator que minimiza ou maximiza uma resposta (APRIL et al., 2005).

No entanto, não existe apenas um método que pode ser utilizado eficazmente para todos os problemas. O método a ser utilizado depende das características da função objetivo, da natureza das restrições e do número de variáveis do problema. Além disso, problemas que apresentam funções objetivo e/ou restrições complexas podem ter problemas na obtenção da solução usando determinadas técnicas de otimização (SECCHI, 2001).

Contudo, quando são propostas alterações aos processos do negócio, para melhorar o desempenho, as melhorias projetadas podem ser simuladas e otimizadas artificialmente. A sensibilidade de fazer as mudanças nos objetivos finais pode ser examinada e quantificada, reduzindo o risco de implementação real. As alterações podem implicar a adição, redução e

modificação de processos, tempos de processo, recursos necessários, horários, taxas de trabalho dentro de processos, níveis de habilidade e orçamentos (APRIL et al., 2005).

2.6 Simulação de processos

A técnica de simulação de processos teve início na década de 50, pela indústria bélica. No entanto, no final da década de 60, a técnica tinha se disseminado nos diversos segmentos industriais (PRADELLA; FURTADO; KIPPER, 2016). Simulação se refere a uma ampla coletânea de métodos para estudar o comportamento de sistemas reais utilizando algoritmos e/ou *softwares* computacionais. Ela estuda uma ampla variedade de modelos de um sistema real por avaliação numérica usando *softwares* projetados para imitar as operações e características do sistema real (KELTON; SODOWSKI; SWETS, 2010).

Neste sentido, a modelagem cria um modelo de um sistema real ou proposto e a simulação testa este modelo com a finalidade de conduzir experimentos numéricos a obter resultados efetivos (KELTON; SODOWSKI; SWETS, 2010).

A simulação de processos tem um papel fundamental na análise e compreensão de sistemas complexos. Após a obtenção de bons resultados com o uso de simulação, esta se tornou uma ferramenta eficaz para testar vários cenários de um negócio sem incidir nos riscos e custos se os experimentos fossem reais (PRADELLA; FURTADO; KIPPER, 2016).

Portanto, com a simulação computacional é possível recriar o sistema real em um ambiente controlável. Dessa forma, é possível compreender, manipular e testar seu comportamento de forma segura, com custos inferiores aos que seriam necessários para reprodução do sistema real. Além de reduzir o tempo de análise. Também é possível visualizar os resultados provenientes de qualquer modificação sem, necessariamente, alterar o sistema real (PRADELLA; FURTADO; KIPPER, 2016). Logo, a simulação de processos pode ser utilizada para:

- comparar o desempenho de diferentes processos sob as mesmas condições;
- validar um modelo;
- determinar as variáveis que têm maior influência no desempenho do processo;
- prever o desempenho de um processo sob diferentes cenários;
- descobrir onde estão as folgas e os gargalos do processo;
- medir a eficiência;
- calcular os custos.

A metodologia para simulação de processos começa com uma análise detalhada do processo que se pretende otimizar, permitindo definir os requisitos, indicadores e restrições que possibilitarão a construção do modelo de simulação. A simulação continua até que seja encontrado um comportamento satisfatório para o processo (PRADELLA; FURTADO; KIPPER, 2016). Assim, a simulação de processos é constituída por 5 fases:

1. aquisição de conhecimentos e análise;
2. modelagem;
3. execução;
4. análise do sistema;
5. desenvolvimento e reformulação.

Na fase de aquisição de conhecimentos e análise, entende-se o que será simulado e define-se qual é o objetivo. As informações extraídas precisam ter uma riqueza de detalhes para que os dados sejam corretamente explorados. Além disso, as características do negócio e o comportamento esperado dos processos devem ser levados em consideração no ambiente de estudo (PRADELLA; FURTADO; KIPPER, 2016).

Após a definição dos cenários, na fase 1, cria-se um modelo matemático para que possa ser executado num modelador. Na fase de modelagem é preciso definir quais são as variáveis realmente importantes para a tomada de decisão e fazer simplificações possíveis para facilitar e agilizar o processo sem prejuízo ao resultado final. Assim, no final da fase 2, têm-se simulações executáveis que organizam todas as operações necessárias para gerar sequências representativas de eventos e para descrever como expressar esses eventos a serem processados pelo sistema (PRADELLA; FURTADO; KIPPER, 2016).

A fase de execução começa com a geração de dados consistentes e coerentes utilizando o modelo de simulação criado durante a fase 2. O *software*, então, executa uma ou mais iterações da simulação gerando todos os eventos das sequências definidas. A fase 3 termina quando todos os eventos da simulação forem processados pelo sistema (PRADELLA; FURTADO; KIPPER, 2016).

Na fase 4 (análise do sistema) avalia-se o desempenho e o comportamento do sistema ou processo. Para isso, consideram-se os passos do processamento, as decisões automatizadas, os cálculos das métricas utilizadas e a integridade dos dados de entrada (PRADELLA; FURTADO; KIPPER, 2016).

A fase de desenvolvimento e reformulação consiste em adaptar ou melhorar o modelo de simulação com base nos resultados obtidos na fase 4 (PRADELLA; FURTADO; KIPPER, 2016).

A execução das fases expostas é fundamental para que a simulação seja bem-sucedida e para que seus resultados possam realmente aperfeiçoar o processo que está sendo simulado (PRADELLA; FURTADO; KIPPER, 2016).

2.7 Simplificação de modelos matemáticos

Um modelo pode ser considerado com uma representação matemática de um sistema ou processo. Na maioria das vezes, é utilizado para explicar, entender ou melhorar estes. Porém, qualquer técnica para criar modelos tem limitações. Logo, os modelos servem como um guia (TARIFA, 2017).

No processo de modelagem faz-se necessário analisar o problema, resumir as características essenciais, selecionar e modificar as suposições básicas que caracterizam o sistema e, portanto, elaborar o modelo para obter uma aproximação satisfatória (TARIFA, 2017).

Se o modelo criado é muito robusto, o excesso de detalhes pode aumentar as chances de erro de execução. Com isso, o melhor modelo é o mais simples que pode resolver o problema com o grau de exatidão requerido (TARIFA, 2017).

Para simplificação de um modelo matemático pode-se converter variáveis em constantes, eliminar ou combinar variáveis, supor linearidade, acrescentar suposições e restrições e delimitar os limites do sistema (TARIFA, 2017).

2.8 Arena®

O Arena® é um *software* de simulação integrado a um ambiente gráfico. O processo de criação do modelo a ser simulado é gráfico, assim não é necessário usar nenhuma linguagem de programação. O *software* ainda conta com recursos para modelagem, desenho, animação, análise estatística e análise dos resultados de processos em geral (ARENA, 2017).

A primeira versão do *software* foi lançada na década de 1980 e na época utilizava a linguagem SIMAN, que foi produzida pela *Systems Modeling Corporation* (SMC). A empresa inovou em criar a primeira linguagem de simulação, porém, o programa apenas era compatível com computadores IBM (ARENA, 2017).

A empresa continuou inovando e aprimorando seu desempenho. O SIMAN foi a primeira linguagem de comunicação em fazer uso do mouse em sua interface, em um período anterior à criação do Windows (ARENA, 2017).

No início década de 90, foi integrado o pacote CINEMA que junto ao SIMAN permitia a representação gráfica e em cores do processo simulado. Em 1993, a empresa uniu o SIMAN e o CINEMA em um ambiente único de simulação, criando o *software* Arena® (ARENA, 2017).

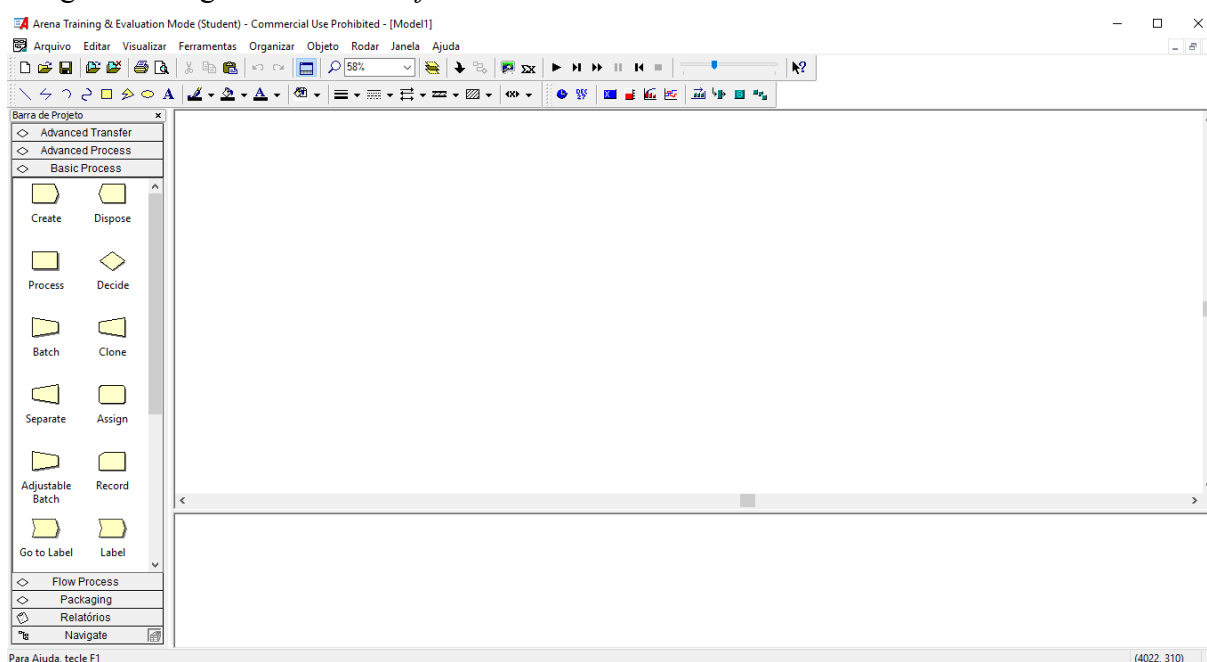
Já em 1995, foi lançada a versão do *software* Arena® compatível com o Windows 95. No ano seguinte, com a versão 3.0, passou a ser a primeira e única até o momento a receber a certificação “Microsoft Windows Compatible”, integrando a linguagem VBA, que permite acessar ou ser acessada por todos os aplicativos do MS Office (ARENA, 2017).

Em 2000 a *Systems Modeling Corporation* foi comprada pela empresa Rockwell. Com isso, o *software* Arena® recebeu um enorme impulso de desenvolvimento. O *software* Arena® passou a fazer parte do conjunto RS BIZWARE, que reúne uma solução integrada e completa para projetar, planejar e gerenciar o chão de fábrica (ARENA, 2017).

Além de realizar simulações, o Arena®, através do *Input Analyzer*, analisa os dados de entrada e encontra a melhor distribuição estatística de acordo com os dados reais do processo. O *software* também contém a ferramenta *Output Analyzer*, que permite analisar os resultados dos dados coletados através de gráficos e elementos estatísticos, durante a simulação do processo (GONÇALVES, 2014).

A tela inicial do Arena®, bem como as ferramentas que são disponibilizadas são apresentadas na Figura 8.

Figura 8 - Página inicial do *software* Arena®



Fonte: A autora.

2.9 Uso da simulação de processos na otimização da linha de produção de linguiças frescas

A produção de linguiças frescas ainda é muito artesanal, mesmo em grandes indústrias. O processo requer várias etapas que demandam muita mão-de-obra. No processo de produção, ilustrado na Figura 2, as etapas precedentes ao embutimento são etapas mais mecânicas, não tendo muita influência da mão-de-obra. Desta forma, na análise de otimização de linha deste trabalho, optou-se por desconsiderar as etapas anteriores ao embutimento para redução de custos e otimização do processo produtivo.

Consideraram-se os dados obtidos da linha de linguiça fresca de um frigorífico que funciona em três turnos e seis dias na semana, de segunda a sábado. Analisando estes dados foi possível observar que o tempo médio de pesagem de linguiça não é significativamente diferente entre os três turnos. Embora, o terceiro turno seja mais veloz que os demais, conforme é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Tempo para pesagem de 5 kg de linguiça por turno

Turno	Tempo médio (s)	Tempo máximo (s)	Tempo mínimo (s)
Primeiro	50,95 ^a	98,71	23,79
Segundo	52,05 ^a	87,03	29,21
Terceiro	46,39 ^a	95,03	23,20

Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre os tratamentos com 95% de confiança.

Fonte: A autora.

O tempo gasto para pesagem de 5 kg e 1 kg de linguiça é apresentado na Tabela 3. As etapas de pesagem são exatamente as mesmas e, de acordo com os dados da Tabela 3, o tempo médio gasto para pesar embalagens de 1 kg é em torno de 25% menor que aquele para pesar embalagens de 5 kg.

Tabela 3 - Tempo médio para pesagem das embalagens

Peso	Tempo médio (s)	Tempo máximo (s)	Tempo mínimo (s)
1 kg	36,92 ^a	81,56	24,18
5 kg	49,80 ^b	200,90	10,39

Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre os tratamentos com 95% de confiança.

Fonte: A autora.

O tempo médio de pesagem afeta diretamente a produtividade. Assim, foi realizada a análise de produtividade de cada colaborador, que mostrou que há diferença significativa entre cada um deles, conforme apresentado na Tabela 4. Verifica-se que os tempos de pesagem diferem muito entre os colaboradores, e credita-se a este fato a experiência do operador na linha de produção.

Tabela 4 - Tempo gasto na pesagem de 5 kg de linguiça

Colaborador	Tempo médio (s)
1	32,90 ^f
2	34,77 ^{ef}
3	39,70 ^{def}
4	43,53 ^{cdef}
5	43,57 ^{cdef}
6	45,66 ^{cdef}
7	47,14 ^{cde}
8	48,77 ^{cd}
9	51,73 ^{cd}
10	55,37 ^{bc}
11	68,50 ^{ab}
12	70,57 ^a

Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre os tratamentos com 95% de confiança

Fonte: A autora.

Durante o levantamento dos dados observou-se também que:

- existe um tempo ocioso no misturador, devido ao operador ter que pesar a matéria-prima;
- existem poucas pessoas que fazem o serviço de ponteiras;
- há sobrecarga do operador da embaladora;
- ocorrem embalagens mal seladas;
- os operadores da embutideira não utilizam os parâmetros padronizados;
- a linguiça não é padronizada quanto a cor, tamanho e formato.

Neste contexto, os dados coletados desta empresa serão utilizados para o estudo de otimização de linguiças frescas. Os materiais e métodos apresentados a seguir serão baseados nestes dados.

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição do local do experimento

Os experimentos foram conduzidos em um frigorífico de grande porte da cidade de Patos de Minas, no estado de Minas Gerais. A produção de linguiças frescas começa com o preparo da matéria-prima que é retirada no setor de desossa e encaminhada para o setor de industrializados. Neste setor é realizada a quebra dos blocos de matérias-primas que estavam congeladas. Em seguida, as matérias-primas são pesadas e direcionadas ao moedor, cuja função é garantir a granulometria desejada para cada matéria-prima antes de ser enviada para as próximas etapas do processo. Após a moagem, as matérias-primas são misturadas, em um misturador, aos insumos que foram previamente pesados e pré-misturados. Após o procedimento de mistura, a massa assim denominada é direcionada para o setor de embutimento que tem a finalidade de colocar a massa em seu envoltório. Então, o produto é pesado e fracionando em embalagens de 5 kg. Posteriormente, é encaminhado para o setor de embalagem secundária, onde são formadas caixas com 15 kg de linguiça. Por fim, o produto é direcionado para o túnel de congelamento, onde permanece por 24 horas, e, então, é expedido.

3.2 Coleta de dados

Durante o planejamento da coleta de dados, avaliou-se que seria necessário determinar as seguintes variáveis: Tempo de Embutimento (TE), Tempo de pesagem (TP) e Tempo de selagem (TS), por serem as etapas que mais demandam tempo no processo avaliado. Destaca-se que a coleta de dados foi realizada através da análise do ambiente estudado, buscando-se entender todo o processo de produção de linguiça fresca. Após esta etapa, realizou-se a cronometragem dos tempos, para levantamento de dados, utilizando um cronômetro digital.

3.3 Análise dos dados

Os dados coletados foram analisados utilizando a ferramenta de análise de dados *Input Analyzer* do software *Arena*®. Os resultados da simulação foram analisados utilizando a ferramenta *Output Analyzer* do referido software.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo de caso

A indústria estudada funciona em três turnos e tem capacidade produtiva de linguiça frescal de 24 toneladas ao dia. Para esta produção, ela conta com:

- um funcionário na embutideira
- duas pessoas na colocação de lacre e conferência da linguiça
- cinco pessoas que pesam as linguiças de acordo com a embalagem
- uma pessoa na seladora.

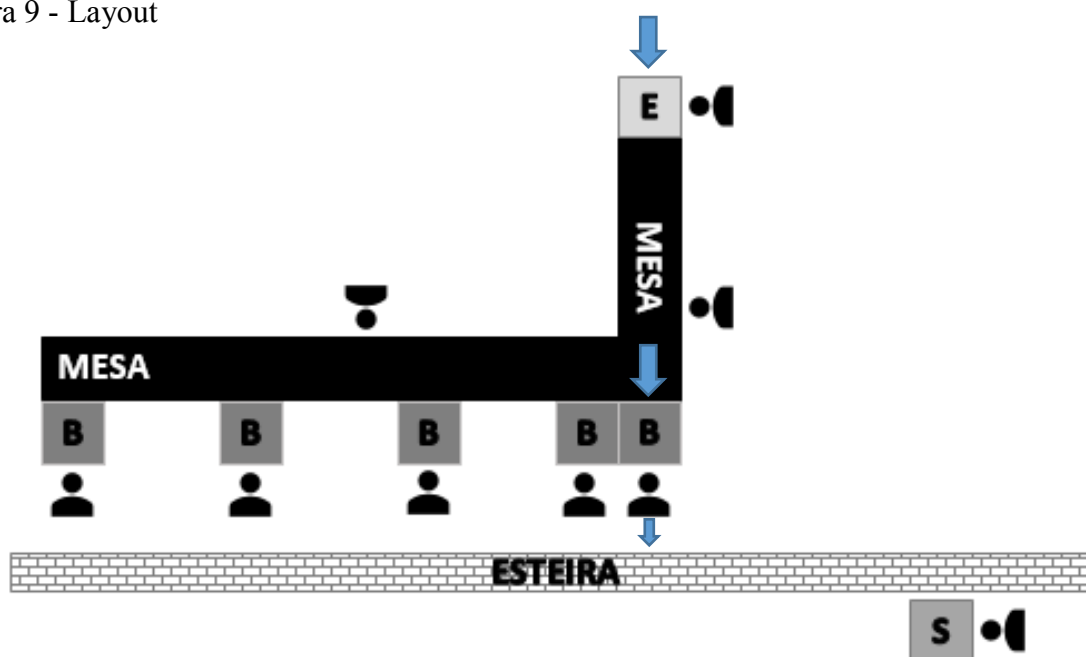
Na Figura 9, apresenta-se o layout da produção a partir da embutideira (E) até a embalagem primária e a disposição dos colaboradores. A massa é colocada na embutideira em bateladas de 450 kg. Então, o operador responsável por operar a embutideira aciona a máquina com o joelho, colocando a massa dentro das tripas naturais, as quais são corrugadas em um outro processo.

Em seguida, duas pessoas são responsáveis por colocar lacre nas pontas das linguiças, para que a massa não escorra durante o armazenamento. Além disso, elas são responsáveis por verificar as falhas da tripa. Caso haja alguma falha, deve ser corrigida antes de ir à balança (B).

Cinco balanceiros são responsáveis pela pesagem do produto. Após a pesagem, os balanceiros colocam os sacos na esteira. Então, o selador tira o saco da esteira, sela (S), e coloca novamente para que o produto siga para embalagem secundária. Com isso, o problema tem como:

- **Função objetivo:** reduzir o acúmulo de embalagens para selagem
- **Variáveis de decisão:** tempo de embutimento (TE), tempo de pesagem (TP) e tempo de selagem (TS).
- **Restrições:** capacidade máxima de embutimento 24 toneladas.

Figura 9 - Layout

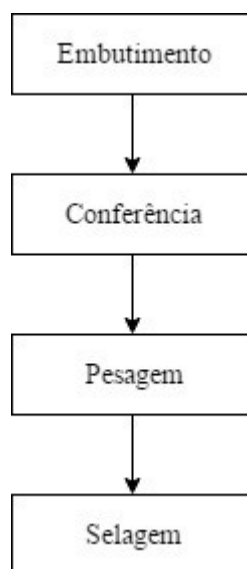


Legenda: E – Embutideira; B – Balança; S – Seladora.

Fonte: A Autora

Este trabalho teve como objetivo o estudo do processo produtivo a partir da embutideira visto que, como os processos anteriores são dependes de maquinários, a mão-de-obra tem pouca influência, sendo, assim, desconsiderada. O fluxograma do processo estudado é mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma do processo estudado



Fonte: A Autora

4.2 Coleta e análise estatística dos dados

A coleta de dados foi feita de forma minuciosa visto que os dados coletados são fundamentais para a correta modelagem e simulação. A coleta foi realizada de forma direta por observação e medição dos tempos das variáveis que compõem o sistema estudado.

Mediram-se o tempo de embutimento (TE), pesagem (TP) e selagem (TS). Estas variáveis foram escolhidas visto que são as etapas mais dispendiosas de tempo. A estatística descritiva dos dados está disposta na Tabela 5. Os dados coletados foram submetidos a uma análise exploratória com auxílio do *software* Microsoft Excel, obtendo-se as médias de posição (média aritmética, mediana e quartis) e medidas de dispersão (desvio padrão e coeficiente de dispersão).

Tabela 5 - Análise exploratória dos dados coletados

Parâmetro analisado	TE (s)	TP (s)	TS (s)
Média	16,47	48,92	7,86
Mediana	14,18	45,09	7,44
1º Quartil (Q¹)	10,37	35,02	6,31
3º Quartil (Q³)	22,02	60,63	8,62
Desvio Padrão	8,51	21,18	2,49
Coeficiente de Variação	51,68%	43,29%	31,68%

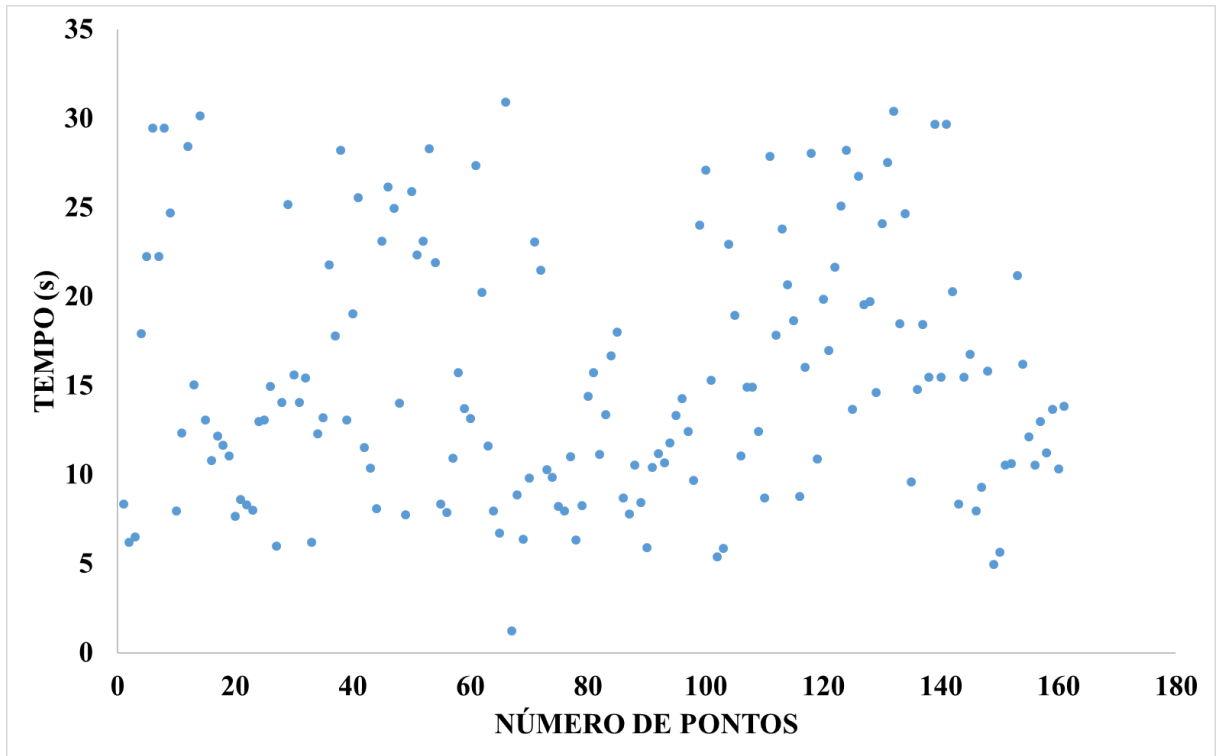
TE: Tempo de embutimento; TP: Tempo de pesagem; TS: Tempo de selagem

Fonte: A Autora.

Observa-se que o tempo necessário para a pesagem (TP) apresentou a maior média (48,92 s) e mediana (45,09 s) entre as variáveis analisadas. O tempo de selagem (TS) apresentou os menores valores de média (7,86 s) e mediana (7,44 s). Conforme exposto na Tabela 5, os dados têm um alto coeficiente de variação, ou seja, eles variam bastante em relação à média. O alto coeficiente no tempo de embutimento se deve ao fato de as tripas utilizadas não serem uniformes.

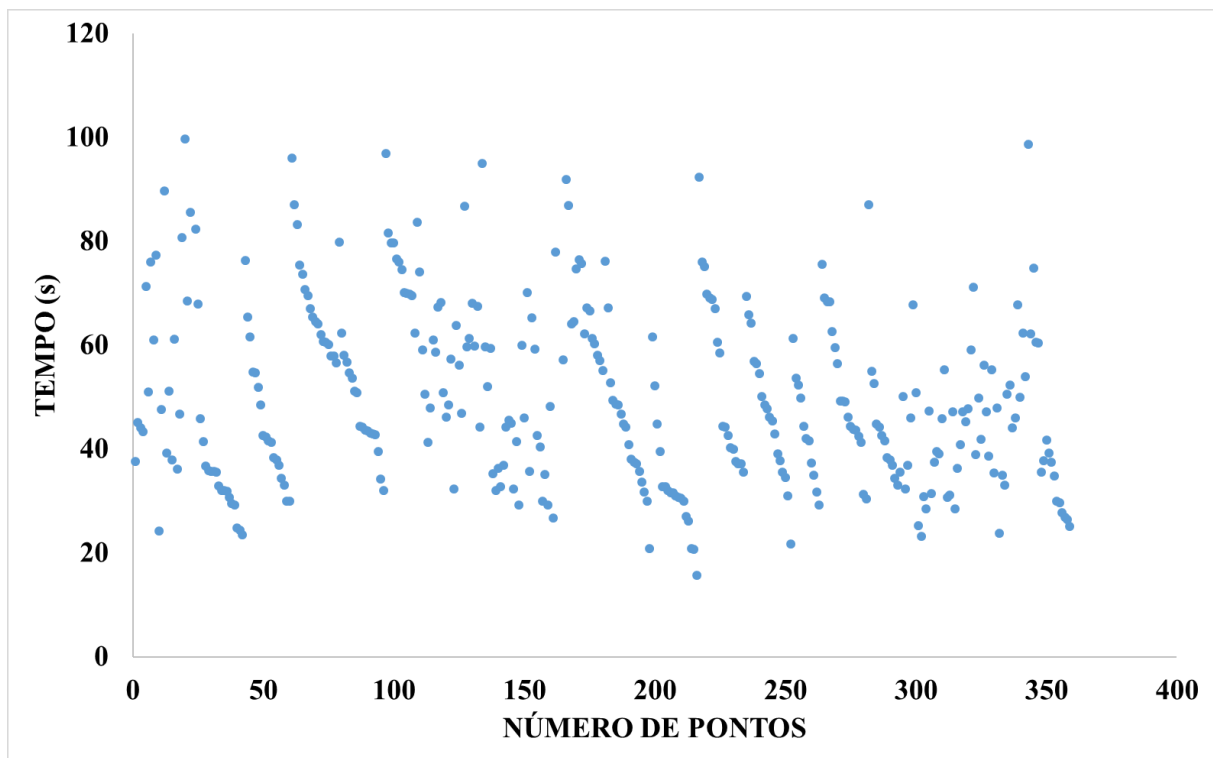
Após a análise exploratória, realizou-se a análise de correlação entre os dados coletados. A dispersão dos dados coletados é apresentada na Figura 11, na Figura 12 e na Figura 13. Observa-se que não há correlação entre os dados, ratificando assim a aleatoriedade dos mesmos.

Figura 11 - Gráfico de dispersão do tempo de embutimento



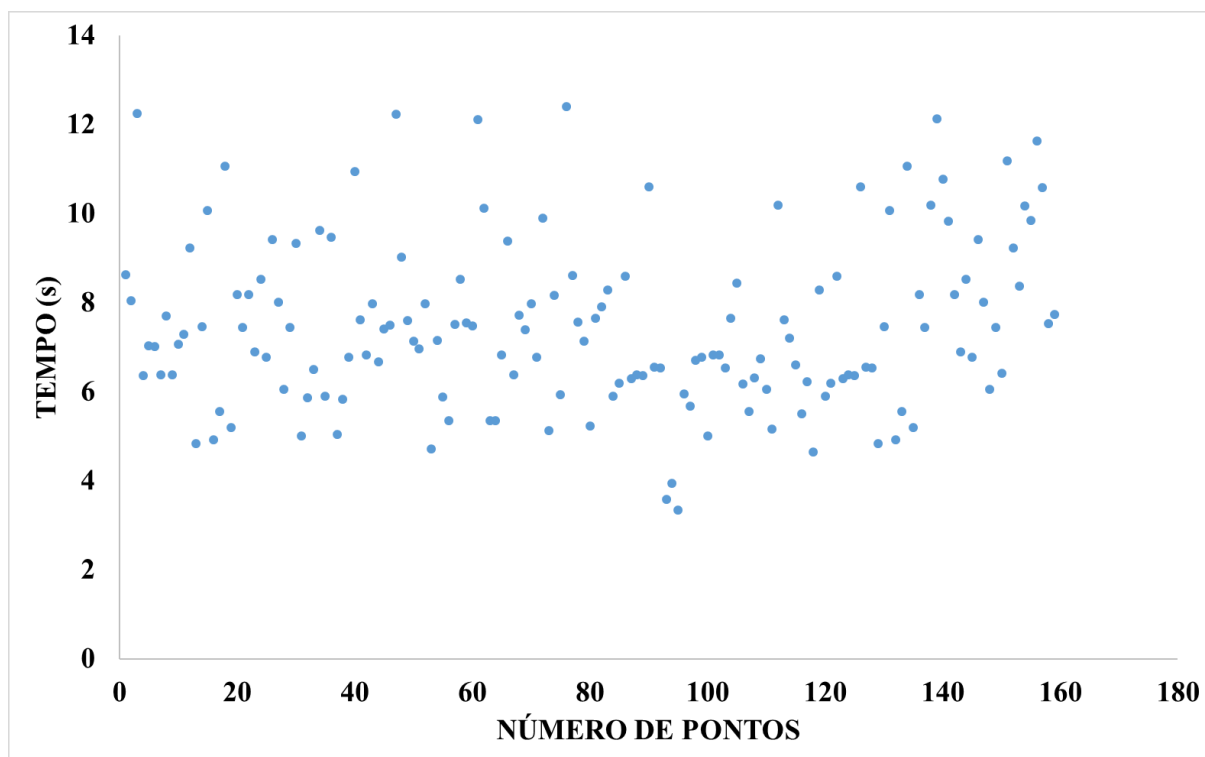
Fonte: A autora.

Figura 12 - Gráfico de dispersão do tempo de pesagem



Fonte: A autora.

Figura 13 - Gráfico de dispersão dos dados de selagem

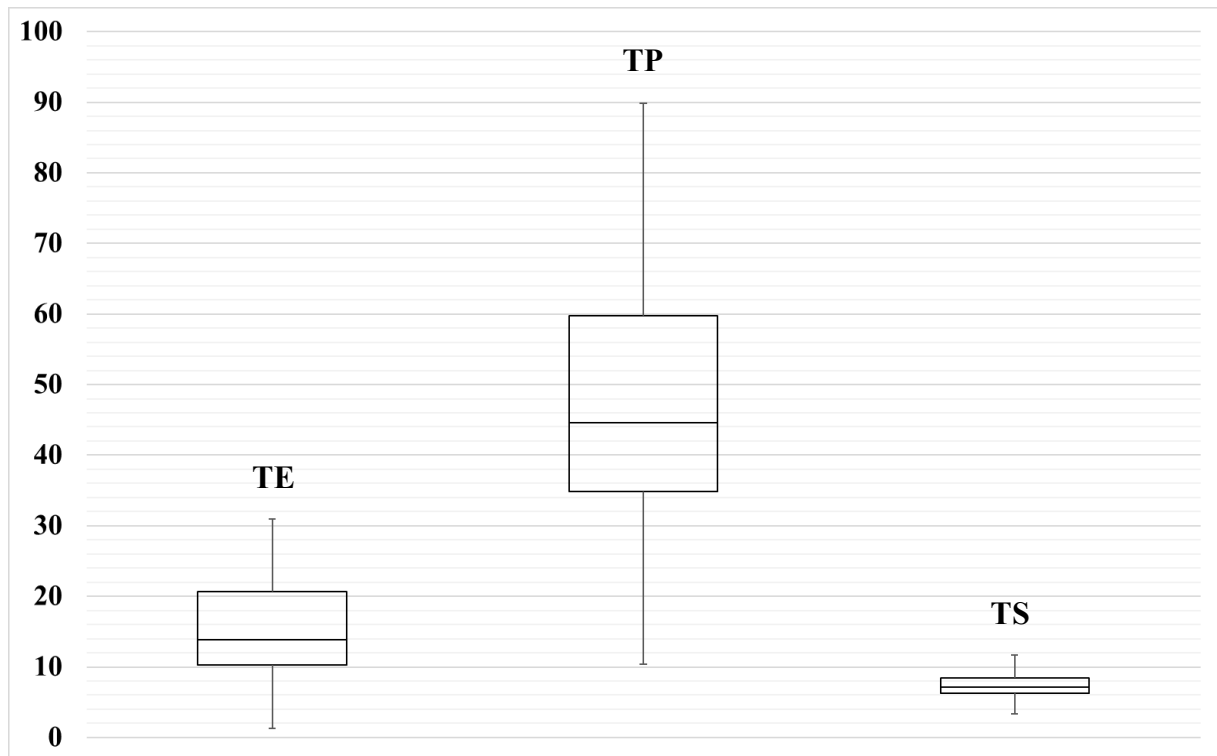


Fonte: A autora.

4.3 Tratamento estatístico dos dados

Os dados foram plotados em forma de *boxplots*, conforme é ilustrado na Figura 14. Este tipo de plotagem foi importante para identificação de *outliers*, ou seja, valores fora da normalidade. O surgimento destes pontos se deve a erros de coleta ou ocorrência de eventos raros e/ou inesperados. Utilizou-se a técnica empregada por Chiwf e Medina (2007) para identificação dos pontos, conforme é apresentado na Tabela 6.

Figura 14 - Boxplot



Fonte: A autora.

Tabela 6 - Identificação de outliers

<i>OUTLIERS</i>	
$A = Q^3 - Q^1$	
Valor $< Q^1 - 1,5A$	<i>Outlier moderado</i>
Valor $> Q^3 + 1,5A$	<i>Outlier moderado</i>
Valor $< Q^1 - 3,0A$	<i>Outlier extremo</i>
Valor $> Q^3 + 3,0A$	<i>Outlier extremo</i>

Adaptado de: Chiwf; Medina (2007)

Os pontos fora da curva foram excluídos do conjunto de dados, quando não tinham explicação satisfatória para sua existência. Então, determinaram-se as curvas de distribuição teórica de probabilidades que melhor representavam o comportamento do sistema estudado. Através da ferramenta *Input Analyzer* do Arena[®], obtiveram-se as distribuições expostas na Tabela 7.

Tabela 7 - Distribuições de Probabilidade

Parâmetro analisado	Distribuição	Expressão	R ²
TE (s)	Lognormal	1 + LOGN(15, 9.6)	0,006031
TP (s)	Triangular	TRIA(10, 36, 90)	0,003992
TS (s)	Gama	3 + GAMM(0.86, 5.19)	0,005496

TE: Tempo de embutimento; TP: Tempo de pesagem; TS: Tempo de selagem

Fonte: A autora.

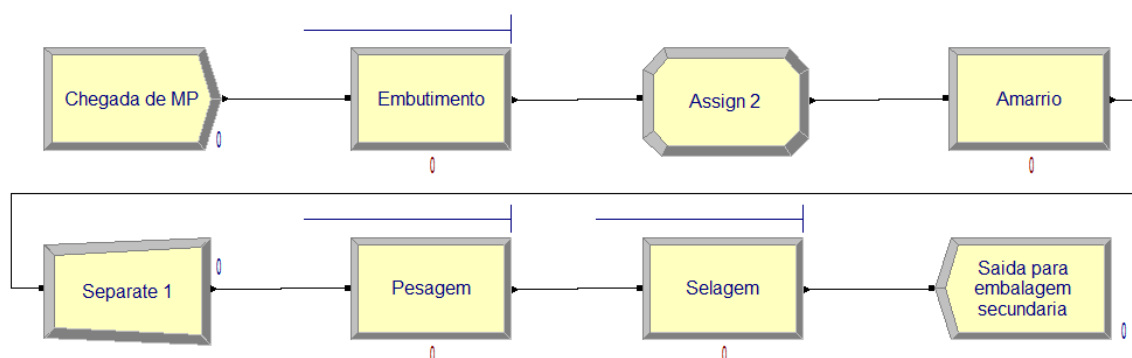
Tais distribuições encontradas são específicas do *software* Arena[®]. A distribuição Lognormal é usada em situações em que há um grande número de quantidades aleatórias e também é frequentemente usada para representar tempos em que ocorre uma distribuição inclinada para a direita. A distribuição Triangular é comumente usada em situações em que a forma exata de distribuição dos dados não é conhecida, assim, estima-se utilizando dos dados de mínimo, médio e máximo. Por fim, a distribuição Gama é bastante usada para representar o tempo necessário para completar uma tarefa.

Os dados coletados e as curvas obtidas pelo programa estão dispostos no Apêndice A.

4.4 Simulação computacional

O modelo computacional obtido é apresentado na Figura 15. A chegada de matéria-prima (MP) é representado na primeira caixa, em seguida ocorre o processo de embutimento. Dessa forma, a MP se transforma em produto (Assign 2), então ocorre o amarrio e as linguças são separadas (Separate 1) em pesos de acordo com a embalagem. Então, ocorre o processo de pesagem e selagem. Por fim, o produto é encaminhado para a embalagem secundária.

Figura 15 - Modelo computacional



Fonte: A autora.

Observou-se que o “gargalo” principal, do sistema estudado, era o processo de selagem. O processo conta com uma seladora e um colaborador para selar todas a embalagens do processo.

Para se melhorar o processo, foi proposto a diminuição de um funcionário na balança com o objetivo de aliviar o processo de selagem. Visto que a empresa estudada não tinha interesse em adquirir novos equipamento e gostaria de reduzir gastos.

Os indicadores de desempenho utilizados foram o volume de linguiça produzido e o tempo médio que o produto gastou no processo.

Na Tabela 8 , apresentam-se os resultados obtidos do sistema para o cenário atual e o proposto, os resultados foram considerados após 10 replicações.

Tabela 8 - Resultados de Simulação dos cenários 1 e 2

Cenário	Balanças	Volume produzido (ton)	Tempo (s)
Atual	5	24	69,7784
Proposto	4	24	90,1450

Fonte: A autora.

A diminuição do número de balanceiras foi responsável pelo aumento médio de 29% do tempo de processo. No entanto, isto não interferiu na quantidade de produção da empresa, que é limitada pela capacidade de embutideira.

Neste sentido, o ganho da empresa pela readequação do quadro de funcionários é mostrado na Tabela 9. O principal ganho é referente aos encargos salariais, visto que a economia com energia, água e uniforme são irrisórios.

Tabela 9 - Custo com mão-de-obra

Salário	%	Balanceira (R\$)
Salário Bruto		937,00
Subtotal		937,00
Provisão de férias	8,33%	78,05
Provisão de 13º salário	8,33%	78,05
1/3 férias	2,78%	26,05
Subtotal		1.119,15
Previsões	7%	65,59
Previdência social	8%	74,96

FGTS	8%	74,96
Total		1.334,66
Nº de colaboradores		1
Custo total mensal		1.334,66

Fonte: A autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que o uso da simulação de processos para otimização de uma linha é uma excelente ferramenta para previsão do comportamento da mesma e das respectivas tomadas de decisões. Além de representar uma ferramenta de fácil uso e baixo custo.

Diante do problema proposto, foi possível concluir que para melhorar a dinâmica de trabalho e aliviar o gargalo de produção é necessário readequar o número de colaboradores na linha de processo. Além disso, embora haja a redução de uma balanceira, isto não interfere na produção final.

Além da redução de funcionários, a readequação também diminui despesas da empresa como encargos salariais, e também gastos com energia, água e uniformes.

Como continuidade do trabalho, sugere-se o estudo a implementação de outra embutideira e seladora para aumentar a capacidade produtiva.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, O.C. **Avaliação físico-química e microbiológica de lingüiça toscana porcionada e armazenada em diferentes embalagens, sob condições de estocagem similares às praticadas em supermercados.** 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2005.
- APRIL, J. et al. **Enhancing Business Process Management With Simulation Optimization.** 2005. Disponível em: <<http://www.bptrends.com/publicationfiles/01-05 WP Simulation Optimization - April et al.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2017.
- ARENA. 2017. Disponível em: <<http://www.erlang.com.br/arena.asp>>. Acesso em: 14 abr. 2017.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 4, de 31 de março de 2000. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Carne Mecanicamente Separada, de Mortadela, de Lingüiça e de Salsicha. **Instrução Normativa Nº 4, de 31 de março de 2000.** Seção 1, p. 6. ., Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=7778>>. Acesso em: 21 abr. 2016.
- BRASIL. Maxwell Merçon Tezolin Barros Almeida. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Ed.). **Indicadores IBGE:** Estatística da Produção Pecuária. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 45 p. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_201604caderno.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2017.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C.. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações.** São Paulo: Brazilian Books, 2007.
- FRANCISCO TURRA. Associação Brasileira de Proteína Animal (Org.). **Relatório Anual:** 2016. São Paulo: Abpa, 2016. 136 p. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2017.
- GONÇALVES, V. A.. **Simulação da dinâmica operacional na linha de esquartejamento de uma indústria de abate suínos.** 2014. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.
- HUE, C. K.. **O mercado de frios no Brasil: uma estimação de demanda a partir de um modelo AIDS em três estágios.** 2011. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Economia, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2011.
- KELTON, W. D.; SODOWSKI, R. P.; SWETS, N. B.. **Simulation with Arena.** 5. ed. Nova Iorque: Mcgraw-hill, 2010. 657 p.
- LIMA, R. Z. de; SOUZA, Alisson D. C. de; ARAÚJO, L. C. de. **Manual do Arena 9.0.** Florianópolis: UFSC, 2006. 77 p.
- OLIVO, N.. **Mercado Mundial de Carnes.** 50. ed. Criciúma: Olivo, 2008. 154 p.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (Org.). **Guias para o gerenciamento dos riscos sanitários em alimentos**. Rio de Janeiro: OPAS/OMS, 2009. 322 p. Disponível em:

<http://bvs.panalimentos.org/local/File/Guias_para_gerenciamento_riscos_sanitarios_em_alimentos.pdf>. Acesso em: 26 out. 2016.

PEREDA, J. A. O.; RODRIGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F. et al. **Tecnologia de Alimentos Volume 2: Alimentos de Origem Animal**. Porto Alegre: Artmed Editora S.a., 2007. 279 p.

PRADELLA, S.; FURTADO, J. C.; KIPPER, L. M.. **Gestão de Processos: da teoria à prática**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2016. 141 p.

SARAMAGO, S. P. et al. Planejamento de experimentos e otimização de sistemas mistos. **Famat: Em Revista**, Uberlândia, v. 1, n. 11, p.231-246, out. 2008.

SECCHI, A. R.. **Otimização de Processo**. Porto Alegre: Cpgeq, 2001. 165 p.

SILVA, J. M.; COLOMBO, S. G.; BACHINI, T. V.. Modelo de Gestão para otimização do rendimento de envoltórios naturais na fabricação de linguiça suína tipo frescal. **Revista Latino-americana de Inovação e Engenharia de Produção**, [s.l.], v. 4, n. 5, p.124-136, jul. 2016.

TARIFA, E. E.. **Teoría de Modelos y Simulación: Introducción a la Simulación**. 2017. Disponível em:

<http://www.econ.unicen.edu.ar/attachments/1051_TecnicasIISimulacion.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.

VIEIRA, A. F. de C.; BELLO, L. H. A. dal. Experimentos com mistura para otimização de processos: uma aplicação com respostas não normais. **Pesquisa Operacional**, [s.l.], v. 26, n. 3, p.605-623, dez. 2006.

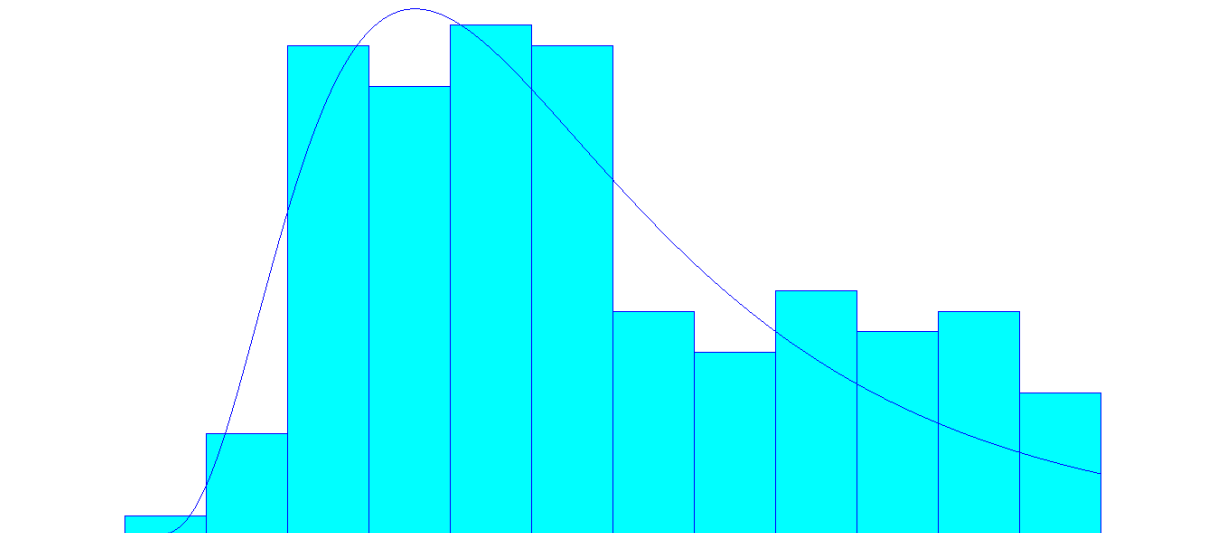
WACHHOLZ, L.. **Análise e simulação do processo de produção de pão francês em uma panificadora de pequeno porte: um estudo de caso**. 2013. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

APÊNDICE A

Quadro A1 - Registro da variação dos tempos de embutimento

8,36	12,18	6,22	7,76	6,75	15,75	12,42	23,81	14,64	16,77
6,20	11,66	12,31	25,92	30,91	11,16	9,68	20,69	24,13	7,96
6,52	11,07	13,20	22,35	1,25	13,38	24,02	18,66	27,56	9,29
17,94	7,69	21,78	23,12	8,88	16,70	27,12	8,81	30,40	15,81
22,25	8,60	17,79	28,32	6,37	18,02	15,31	16,03	18,47	4,95
29,48	8,32	28,21	21,94	9,80	8,72	5,40	28,05	24,66	5,67
22,25	8,00	13,09	8,34	23,09	7,80	5,89	10,90	9,62	10,55
29,48	12,99	19,06	7,89	21,47	10,56	22,93	19,85	14,78	10,62
24,71	13,07	25,55	10,93	10,31	8,44	18,96	16,97	18,46	21,21
7,98	14,97	11,52	15,73	9,88	5,91	11,08	21,65	15,49	16,21
12,33	6,01	10,38	13,74	8,25	10,41	14,91	25,09	29,68	12,14
28,46	14,06	8,11	13,18	7,97	11,21	14,94	28,22	15,49	10,57
15,04	25,19	23,12	27,36	11,01	10,67	12,42	13,66	29,68	12,99
30,15	15,63	26,17	20,23	6,33	11,80	8,70	26,78	20,28	11,23
13,08	14,06	24,96	11,63	8,28	13,33	27,89	19,55	8,35	13,70
10,80	15,44	14,02	7,98	14,41	14,29	17,84	19,73	15,48	10,34
13,87									

Figura A1 - Curva resultante do processo de embutimento

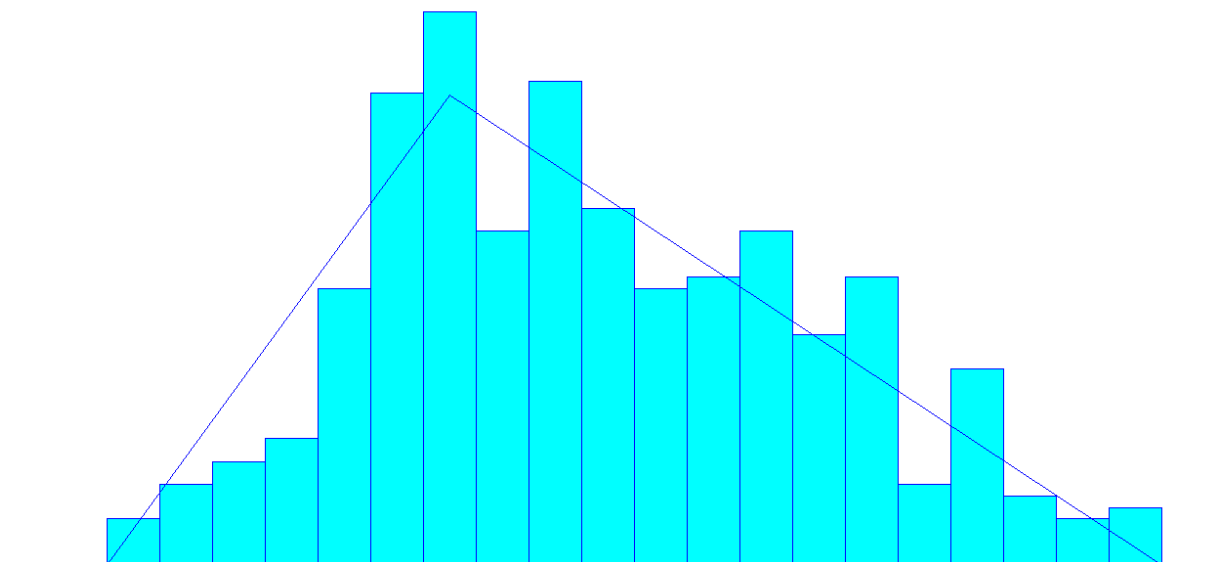


Quadro A2 - Registro da variação dos tempos de pesagem

37,68	47,60	53,45	80,70	13,37	32,04	61,58	62,33	30,06	81,56
45,17	89,79	26,90	68,56	15,41	31,93	54,83	59,25	29,92	70,74
44,04	28,68	29,20	85,63	29,16	30,70	54,72	51,10	87,03	69,57
43,44	34,34	30,08	82,33	17,21	29,48	51,94	62,63	83,18	67,12
71,32	34,83	39,20	67,92	21,07	29,21	48,56	69,30	75,46	65,43
51,05	42,57	51,16	45,95	24,86	24,86	42,65	38,36	73,73	64,63
76,03	25,20	37,99	41,44	35,69	24,33	42,34	37,97	15,73	64,19
60,98	27,16	61,15	36,72	35,62	23,54	41,61	36,96	13,48	62,08
77,36	21,91	36,11	35,92	32,87	76,26	41,34	34,33	24,06	60,70
24,18	31,55	46,78	35,72	32,09	65,47	66,34	33,02	54,46	60,55
60,13	55,03	57,32	44,27	57,23	33,72	58,47	53,74	55,07	30,68
57,96	47,66	32,30	59,72	86,89	31,78	44,39	52,39	52,62	31,10
57,88	38,74	63,90	52,13	64,12	30,06	44,25	49,80	44,91	47,19
56,58	42,20	56,11	59,40	64,59	20,84	42,57	44,43	44,25	28,50
79,82	32,09	19,93	35,34	74,65	61,59	40,36	42,11	42,60	36,30
62,42	81,66	10,39	31,98	76,54	52,23	39,92	41,65	41,61	40,83
58,05	79,72	36,69	36,27	75,81	44,86	37,58	37,39	38,36	47,20
56,81	79,69	12,11	32,72	62,19	39,53	37,25	35,00	37,97	45,36
54,65	76,56	40,15	36,88	67,21	32,81	37,14	31,70	36,96	47,82
52,76	76,02	14,73	44,19	66,65	32,79	35,57	29,30	34,33	59,08
56,02	74,53	26,70	45,64	61,29	32,06	69,48	75,63	33,02	71,13
65,41	70,13	18,22	45,00	60,24	31,68	65,95	69,16	35,52	39,02
30,70	70,05	26,56	32,33	58,10	31,65	64,21	68,37	50,16	49,92
30,83	69,86	15,65	41,40	57,02	31,09	56,85	68,37	32,32	41,97
35,15	69,50	29,05	29,18	55,10	30,77	56,49	62,59	36,86	56,16
53,63	62,32	17,03	60,06	76,17	30,61	54,49	59,55	46,02	47,21
51,17	83,69	44,70	46,02	67,20	30,03	50,16	56,47	67,75	38,67
50,81	74,15	21,55	70,13	52,77	27,12	48,58	49,19	50,85	55,25
44,44	59,16	36,93	35,70	49,46	26,17	47,86	49,19	25,35	35,42
44,25	50,65	42,45	65,23	48,63	20,86	46,13	49,15	23,20	48,00
43,64	41,34	31,55	59,20	48,50	20,65	45,51	46,13	30,80	23,79
43,51	47,95	37,31	42,68	46,78	15,78	42,98	44,37	28,56	35,00
43,06	61,01	46,95	40,49	44,85	76,08	39,12	43,89	47,42	33,11
42,87	58,74	86,74	30,06	44,32	75,20	37,77	43,62	31,40	50,58
42,83	67,39	59,72	35,07	40,89	69,91	35,53	42,44	37,46	52,29
39,53	68,22	61,38	29,24	38,01	69,16	34,59	41,32	39,51	44,11
34,20	50,93	68,03	48,30	37,42	68,78	31,05	31,33	39,07	46,01
57,48	46,17	59,88	26,73	37,20	67,01	21,74	30,46	45,84	67,82

51,20	48,56	67,52	77,93	35,78	60,65	61,39	87,02	55,26	50,05
62,29	62,23	60,65	35,61	41,83	37,55	29,92	27,79	26,41	25,14
54,02	74,80	60,43	37,73	39,21	34,80	29,73	26,89		

Figura A2 - Curva resultante do processo de pesagem



Quadro A3 - Registro da variação dos tempos de selagem

8,63	5,56	6,50	7,60	6,83	7,66	5,67	7,62	4,84	6,77
8,04	11,07	9,62	7,13	9,39	7,91	6,71	7,20	7,47	9,42
12,26	5,19	5,91	6,96	6,38	8,29	6,77	6,61	10,08	8,02
6,36	8,18	9,48	7,98	7,72	5,90	5,01	5,50	4,93	6,05
7,03	7,45	5,04	4,71	7,40	6,20	6,82	6,22	5,56	7,45
7,01	8,18	5,84	7,15	7,97	8,60	6,82	4,65	11,07	6,42
6,39	6,89	6,78	5,89	6,78	6,29	6,53	8,29	5,19	11,18
7,70	8,53	10,94	5,35	9,90	6,39	7,65	5,90	8,18	9,23
6,39	6,77	7,61	7,51	5,13	6,36	8,45	6,20	7,45	8,38
7,07	9,42	6,83	8,52	8,16	10,61	6,18	8,60	10,20	10,17
7,30	8,02	7,98	7,55	5,94	6,56	5,55	6,29	12,13	9,85
9,24	6,05	6,67	7,48	12,40	6,54	6,31	6,39	10,77	11,64
4,84	7,45	7,42	12,12	8,62	3,59	6,74	6,36	9,84	10,59
7,47	9,34	7,50	10,13	7,56	3,94	6,05	10,61	8,18	7,53
10,08	5,01	12,23	5,36	7,13	3,35	5,16	6,56	6,89	7,74
4,93	5,86	9,02	5,36	5,24	5,96	10,20	6,54	8,53	

Figura A3 - Curva resultante do processo de selagem

