

PLANEJAMENTO DE MIX INTELIGENTE: TÉCNICAS DE PESQUISA OPERACIONAL NA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO EM UM FRIGORÍFICO

Edvan Damasceno Silva¹

Valderedo Sedano Fontana²

Ednéa Zandonadi Brambila Carletti³

RESUMO

O artigo apresentado trata de um otimizador de mix de produção para um frigorífico de aves, localizado na Região Sudeste do Brasil. O modelo criado com o software Ms. Excel[®] por meio do suplemento Solver, que utiliza modelagem matemática com métodos lineares e eurísticos (não lineares). Sua principal funcionalidade é decidir quais produtos a indústria deverá produzir para que se obtenha o maior lucro possível, fazendo isto a partir das iterações executadas pelo algoritmo, considerando variáveis e restrições de “gargalos de produção” (mão de obra, máquinas, espaço físico etc.), mercadológicas, específicas de cortes frigoríficos, custos de produção entre outras, de forma dinâmica, podendo facilmente se adaptar em diversos cenários. O modelo proposto mostrou-se eficiente, possibilitando um expressivo acréscimo mensal nas margens de contribuição, se comparado ao histórico do mix executado sem o auxílio do otimizador.

Palavras-chave: Frigorífico. Mix. Otimização. Planejamento. Solver.

ABSTRACT

The article presented in this article it is a production mix optimizer for a birds fridge, located in southeastern region of Brazil. The model created with Ms. Excel[®] software and through the Solver supplement, using mathematical modeling with linear and heuristic (nonlinear) methods. Your principal functionality is to decide which products the industry should produce to obtain the highest possible profit, doing it starting at

¹ Graduando em Engenharia de Produção na Faculdade Multivix Cachoeiro de Itapemirim.

² Mestre em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional (UCAM). Especialista em Informática na Educação (IFES). Especialista em Gestão Empresarial (FACEL). Bacharel em Ciência da Computação, Licenciado em Física e Pedagogia. Professor da Faculdade Multivix Cachoeiro de Itapemirim.

³ Doutoranda em Ciências da Educação pela Universidade Autônoma de Assuncion (UAA). Mestre em Ciência da Informação (PUC-CAMPINAS). Especialista em Informática na Educação (IFES). Graduada em Pedagogia (FAFIA). Professora e Coordenadora de Pesquisa e Extensão da Multivix Cachoeiro de Itapemirim

iterations performed by the algorithm, considering variables and constraints of “production bottlenecks” (manpower, machines, physical space and others.), marketing, specific cold cuts, manufacturing costs and others, of dynamic shape, can easily adapt to different scenarios. The proposed model showed efficient, enabling a significant monthly increase in contribution margins, compared to the historical mix run without the aid of the optimizer.

Keywords: Fridge. Mix. Optimization. Planning. Solver.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor, e o maior exportador de carne de frango do mundo, segundo informações do Embrapa (2013). Isto significa que existe um altíssimo grau de investimento tecnológico no setor, para que se possa produzir cada vez mais, utilizando menos recursos. Carnes de um modo geral são classificadas como commodities (PLATA; CONCEIÇÃO, 2012), e seu preço é definido pelo mercado tendo como grande influenciador a lei da oferta e demanda, não necessariamente pelos seus custos, o que incentiva ainda mais a necessidade de investimentos para redução de custos e estratégias de produção e vendas que otimizem os resultados devido as margens tão estreitas que na maioria das vezes o mercado oferece.

O estudo desenvolvido neste trabalho trata de forma tática a programação da produção de um frigorífico de aves no Espírito Santo, que através da modelagem matemática, possibilita definir quais produtos deverão ser produzidos para que se obtenha a maior margem de contribuição possível, considerando as restrições de mercado, mão de obra, máquinas e matéria prima.

Como o mercado de carnes é extremamente volátil, mudando os resultados dos cenários conforme variação cambial do dólar, volume ofertado no mercado nacional e internacional, inflação entre outros. Caso a indústria não esteja atenta e seja capaz de modificar sua estratégia de vendas em tempo hábil, poderá estar focando sua produção em produtos de pouco valor agregado ou naqueles que não são totalmente absorvidos pelo mercado, deixando de aproveitar as melhores oportunidades de ganho, aumentando estoques e conseqüentemente diminuindo a rentabilidade da

indústria. Por isso a cada dia fica mais evidente a necessidade de que o planejamento e programação da produção sejam otimizados.

O estudo em questão possibilitará que a indústria aproveite da melhor forma possível os seus recursos de máquinas, mão de obra e demais capacidades físicas, trazendo um aumento significativo na eficiência fabril e conseqüentemente a redução dos custos fixos de produção. Este trabalho também influenciará nas decisões estratégicas comerciais da organização, por estar sempre forçando a venda dos produtos mais rentáveis, conforme o comportamento do mercado em relação aos volumes e preços.

Nesse sentido, o objetivo geral deste artigo é demonstrar como a modelagem matemática, por meio de técnicas de pesquisa operacional pode melhorar significativamente os resultados financeiros da indústria.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para um bom entendimento deste trabalho é necessário apresentar alguns conceitos que serviram de base em todo processo, tais como: Pesquisa Operacional, Teoria das restrições, Programação Linear e Programação Não-Linear.

2.1 Pesquisa Operacional

De acordo com Andrade (2000), o termo “Pesquisa Operacional” (em inglês *Operational Research*) foi inicialmente utilizado na Grã-Bretanha no período da 2ª Guerra Mundial em 1938, onde foram recrutados cientistas de diversas áreas (físicos, matemáticos, engenheiros entre outros) com o intuito de elaborar métodos de avaliação e reposicionamento adequado de radares de defesa aérea, e também para melhorar a eficácia de outras operações estratégicas como planejamento de comboios, bombardeios, guerra anti-submarina entre outros. Vista a eficácia deste método, alguns dos cientistas que o desenvolveram aplicaram-no a nível industrial, entre eles a metodologia que mais se destacou no período pós guerra foi o método Simplex, desenvolvido por George Dantzing em 1947, para a resolução de problemas de Programação Linear. O algoritmo agora passou a ter uma nova função, a de

otimizar resultados e diminuir desperdícios, o que foi e ainda é um diferencial competitivo extremamente importante para as indústrias.

Arenales et al (2007) diz que no Brasil a Pesquisa Operacional teve seu início em 1960 e o primeiro Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional foi em 1968 com a presença de alguns conceituados cientistas internacionais. Logo após o primeiro simpósio, em 1969, foi criada a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO). O referido autor afirma ainda que a Pesquisa Operacional consiste no desenvolvimento de métodos científicos modelos complexos que auxiliam na tomada de decisão. O objetivo é dar um caráter científico a todas as políticas e ações da empresa.

De acordo com Hillier e Lieberman (2006) uma das características da Pesquisa Operacional, é que ela possui um ponto de vista amplo e organizacional, o que torna possível a resolução de possíveis conflitos entre setores, trabalhando em prol do da organização como um todo.

Marins (2011, p. 19) diz que “estudando PO e tendo em vista a sua sistemática, leva o técnico a adquirir um raciocínio organizado. Essa formalização do raciocínio facilita a análise e interpretação dos problemas reais, levando a um exame detalhado dos aspectos envolvidos”.

Hillier e Lieberman (2006) dizem que a Pesquisa Operacional, de uma forma geral, possui algumas fases: identificar o problema e coletar dados relevantes, que é a fase mais importante e difícil do processo, pois é através do problema que se pode criar o modelo científico (tipicamente matemático) onde pretende-se extrair o problema real. Assumindo que esse modelo representa de forma exata as características essenciais do problema e que os resultados obtidos também são válidos para a situação. Em seguida ocorre a validação do modelo, onde são realizados vários testes e modificações caso necessário. Após validação e feitas as correções necessárias, pode então preparar-se para aplicação contínua do modelo e implementação de fato. Algumas técnicas utilizadas em pesquisa operacional são: Teoria dos Jogos, Teoria dos Grafos, Teoria das Filas, Teoria da Simulação, Programação Linear, Probabilidade e Estatística Matemática e Programação Dinâmica.

2.2 Teoria das Restrições

Bonadese et al (2005) diz que a TOC (Theory of Constraints) foi inicialmente proposta por Eliyahu Goldratt em seu livro, A Meta. Ela descreve as restrições existentes em uma empresa, comumente conhecidos como "gargalos" de produção. Ela pode ser dividida em duas partes: restrição física, geralmente ligada a equipamentos, fornecedores, materiais, pessoas, pedidos. E restrições políticas, descritas como normas, procedimentos e práticas usuais da empresa.

2.3 Programação Linear

Hillier e Lieberman (2006, p. 25) afirmam que:

A Programação Linear usa um modelo matemático para descrever o problema em questão. O adjetivo linear significa que todas as funções matemáticas nesse modelo são necessariamente funções lineares. A palavra programação, nesse caso, não se refere à programação de computador; ela é, essencialmente, um sinônimo para planejamento. Portanto, a programação linear envolve o planejamento de atividades para obter um resultado ótimo, isto é, um resultado que atinja o melhor objetivo especificado (de acordo com o modelo matemático) entre todas as alternativas viáveis.

De acordo com Bonadese et al (2005) a Programação Linear consiste em um método matemático que busca resolver problemas onde existe um objetivo alvo, mas devem obedecer a algumas restrições. Essas restrições, de forma geral, referem-se a quais recursos devem ser aplicados ou a quanto desses recursos devem ser empregados à atividade. A programação linear possui métodos e procedimentos matemáticos para tratar logicamente, a escassez de recursos.

Para Marins (2011) a Programação Linear tem por fundamento, buscar as melhores soluções para problemas que tenham seus modelos representados por expressões lineares. Sua tarefa principal é maximizar ou minimizar a função objetivo, que é uma expressão linear e sempre respeitando as restrições do modelo. Essas restrições determinam o conjunto de soluções possíveis. O principal objetivo da Programação Linear é determinar qual será a solução ótima, que consiste na melhor solução possível atendendo a todas as restrições do problema de programação linear (PPL).

Hilliere Lieberman (2006) diz que em virtude do surgimento do método Simplex, a Programação Linear tem se destacado ainda mais na resolução de problemas de maiores proporções por sua enorme eficiência.

2.4 Método Simplex

Marins (2011) diz que o método Simplex fornece através de finitas iterações, soluções para qualquer problema de Programação Linear, indicando se o modelo possui soluções ilimitadas, não possuem ou tem infinitas soluções. Após obtido o PPL padrão o método Simplex cumpre duas etapas: testar ou identificar se uma solução é ótima, melhoria ou obtenção da solução base, melhor que a anterior.

Lisboa (2002) escreve que o Simplex percorre os vértices da região factível até que encontre a melhor solução possível, chamada de solução ótima, e que não haja soluções vizinhas melhores.

2.5 Programação Não Linear

Para Belfiore e Fávero (2013) quando o problema é de Programação Não-Linear, pelo menos uma de suas funções, seja a objetivo ou de restrição, deve ser do tipo não linear.

Segundo Hillier e Lieberman (2006) a Programação Não Linear não possui método ou algoritmo específico de resolução capaz de abranges todos os problemas. Foram desenvolvidas algumas classes especiais para resolução de determinados tipos de problemas de Programação Não Linear, tais como: Otimização irrestrita, para problemas que não possuem restrições; Otimização linearmente irrestrita, onde a função objetivo é não linear e todas as restrições são lineares; Programação Quadrática, com restrições ainda lineares, porém com função objetivo quadrática. Fazem parte ainda, Programação Separável, Convexa, não Convexa, Geométrica e Fracionária.

2.6 Ferramentas Computacionais

2.6.1 Solver

O Solver é parte integrante de um pacote de programas que fazem testes de hipóteses. Com ele, pode-se encontrar valores ideais, que podem ser máximos ou mínimos, chamados de ótimos, para uma célula com formulas específicas, chamadas de células objetivo, onde atendem a uma série de restrições contidas em outras células. O Solver precisa de um conjunto de células variáveis, chamadas de variáveis de decisão, que integram a função objetivo e as restrições. Ele aloca valores nas células variáveis que atendam a todas e restrições e produzam os valores esperados. As formulas relacionam-se formando um modelo que utilizam de diversos métodos de Programação Linear e Não Linear para chegar a uma solução ótima para o modelo criado (FRONTLINE SYSTEMS, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Empresa

O frigorífico pesquisado está localizado na Região Sudeste do Brasil e possui capacidade média de abate de 80 mil aves por dia e um quadro de funcionários de aproximadamente 700 colaboradores. Atua no mercado desde o ano 2009 e já se tornou uma forte referência, contando com modernas instalações, abate automatizado e habilitação para comercialização em todo o mercado interno e alguns países do mercado externo como Japão, Hong Kong, Emirados Árabes entre outros.

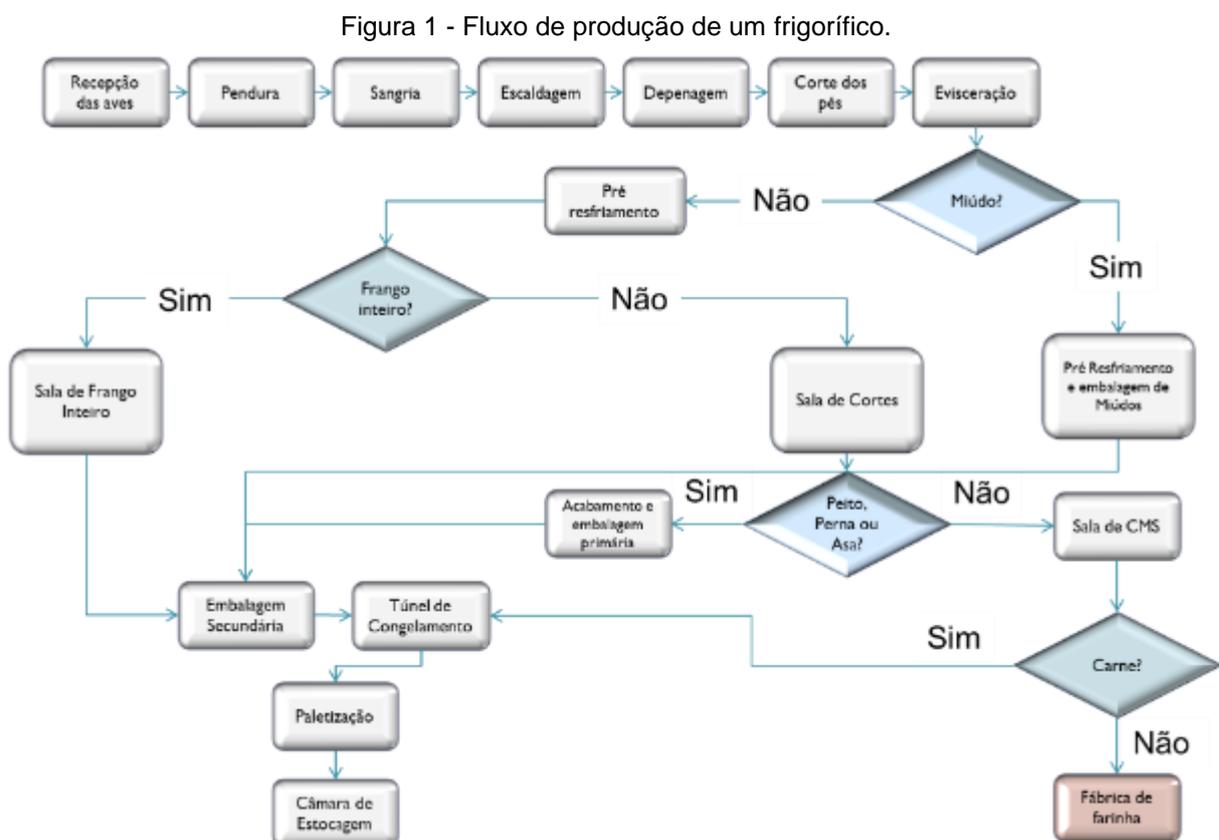
3.2 Processo Produtivo do Frigorífico

Diferente de grande parte das linhas de produção, cujo objetivo é agregar componentes aos produtos semiacabados a fim de transformá-los, um frigorífico com foco em cortes beneficia seus produtos “desmontando” as partes da matéria prima.

Este conceito gera algumas divergências de pensamentos quanto à distribuição dos custos da matéria prima, nomeado por Cassel, Antunes Jr. e Oenning (2006) como Método de Unidades Físicas (MUF) e Método do Valor de Venda (MVV). O MUF assume que a matéria prima (frango vivo) é comprada por um único preço, por isso seu custo deve ser distribuído igualmente às partes de forma proporcional ao seu

peso, enquanto o MVV considera além desta proporção, o valor de mercado para ponderar os valores de cada corte. Os dois métodos levam ao mesmo resultado final, sendo que o primeiro podemos considerar como imparcial por tratar de forma igualitária a todos os cortes e o segundo como ajustado por ponderar estes valores em função do mercado. Embora o método mais utilizado entre frigoríficos seja o Método de Valor de Venda, a empresa estudada optou por enxergar as margens reais do produto, sem ajustes de mercado, por isso utilizou-se o Método de Unidades Físicas para a distribuição dos custos de matéria prima.

As áreas que poderão ser envolvidas neste estudo são os setores de cortes e miúdos, mas o trabalho aqui apresentado terá um maior foco nos cortes, por se tratar dos produtos de maior representatividade financeira. O fluxo da produção segue como mostra a figura 1.



Fonte: Autores (2015)

A figura 1 mostra as etapas dos processos produtivos no frigorífico por setor. Os quadros que seguem da recepção de aves à evisceração fazem parte do setor de abate e o beneficiamento aplicado sobre a matéria prima é o mesmo, independente

do produto que se fará dela. A partir do pré-resfriamento, a matéria prima será resfriada e transportada através de nóreas e esteiras aos setores próprios para seu beneficiamento, que são os setores de cortes e miúdos.

Cada corte possui diversas possibilidades de embalagem, que de acordo com Mix definido no setor de planejamento e controle da produção (PCP), serão aplicados os esforços de trabalho necessários para transformar a matéria prima no produto desejado. O setor de corte além de beneficiar fisicamente a matéria prima desde cortes simples aos mais diferentes tipos de desossa, é também onde será efetuada a embalagem primária dos produtos. Após embalados, os produtos seguem ao setor de embalagem secundária, onde as embalagens individuais serão postas em caixas de papelão, pesadas, registradas via leitura óptica no sistema Edata[®] e transportadas ao túnel de congelamento, que congelará os produtos a uma temperatura inferior a -12°. Após 24 horas de congelamento, as caixas com os produtos serão transportadas ao setor de paletização, onde serão empilhadas sobre paletes de madeira, estrechados e armazenados nas câmaras de estocagem até que sejam feitos os pedidos de venda e então expedidos.

3.3 Metodologia Atual da Programação da Produção

A empresa estudada, utiliza o software Edata[®] para o gerenciamento da produção, e especificamente para a programação da produção, utiliza a tela de ordens de produção, que exibe o status em tempo real do que foi produzido, comparando com o que fora previamente programado. Os dados que alimentam o sistema são gerados de forma paralela em planilhas, usando como princípio para a obtenção do volume a ser produzido de cada família de produtos (peito, perna, asa, frango inteiro etc.), os percentuais que cada parte do frango representa em relação ao frango vivo (rendimento padrão). Os cortes de cada família serão subdivididos nas embalagens correspondentes de acordo com a demanda de pedidos, capacidades produtivas e insumos disponíveis.

3.4 Formulação do Problema

Devido à acirrada concorrência, aumento dos custos e difícil controle sobre os preços de venda, percebeu-se a necessidade de que o planejamento da produção fosse elaborado de forma mais eficiente, para que os recursos disponíveis e oportunidades de mercado fossem melhor aproveitados. Para sanar este problema foram levantadas as principais restrições de produção e mercado, para tornar possível a modelagem matemática.

3.4.1 Restrições de produção

Volume de matéria prima disponível: Existe uma programação prévia para o abate onde são informados os lotes, granjas, peso médio e volume de abate. Este volume influenciará diretamente no total de quilogramas produzido, que por sua vez, possui restrições atreladas.

Proporcionalidade: Considerando que cada ave possui um peito, duas pernas, duas asas, entre outras, podem-se afirmar que nenhum mix proposto pode oferecer algo que seja diferente disso. Sendo assim, restringimos a produção, de forma que a soma dos percentuais programados dos produtos de cada família (peito, perna, asa etc.), mais o que for produzido de frango inteiro seja sempre igual a 100% do mix programado.

Capacidade das instalações e máquinas: As capacidades de equipamento foram obtidas por meio de manual do fabricante de cada equipamento, fornecido pelo setor de produção e manutenção. Nenhum produto poderá ser programado além das capacidades físicas instaladas.

Capacidade produtiva das operações manuais: Para obter-se a capacidade produtiva dos postos operativos, o pesquisador realizou cronoanálises, seguindo os padrões técnicos necessários para conhecer o tempo padrão por quilograma produzido em cada operação. Desta forma, as operações manuais necessárias no mix programado não poderão exceder à mão de obra do quadro de funcionários ativos.

3.4.2 Restrições de mercado

Demanda mensal de vendas: A princípio, quando sugerimos o mix ideal, alguns produtos foram “zerados”. Apesar de aparentemente trazer melhores resultados, nem sempre isso é bom para a saúde das vendas, pois se elevarmos os estoques de alguns produtos (mesmo que os mais rentáveis), o mercado entenderá como um excesso de oferta e conseqüentemente os preços despencarão. Pensando nisto, foi criado um indicador de projeção superior e inferior para as vendas, que às limitará com um valor máximo e mínimo, tendo como base o histórico de vendas do período desejado. Ao final, o solver decidirá quais produtos usarão o limite máximo ou mínimo, conforme a lucratividade de cada um.

3.4.3 Variáveis de produção

As variáveis de produção serão relativas ao volume que se produzirá de cada produto. Para tornar esta operação viável no solver, as células variáveis da planilha serão percentuais que multiplicados pelo rendimento padrão do corte e pelo volume total em quilogramas de aves abatidas no período, resultará no volume esperado do produto em questão.

Figura 2 - Variáveis de produção da família asa e frango inteiro

	B	D	F	G	H	
1						
2		QTD ABATE	81.300	% CORTES	93,48%	
3		PESO MÉDIO	2.756	% FGO INT.	6,52%	
4		KG ABATE	224.063			
5		HORAS TRAB.	7,80			
6						
7		Descrição Edata	Rendimento Padrão	Mix (%)	Kg Produzido	Nº Caixas
8	ASA 1		9,04%	1,76%	358	29,83
9	ASA 2		9,04%	29,61%	6.010	333,88
10	ASA 3		9,04%	4,20%	853	42,66
11	COX. ASA 1		5,43%	3,83%	467	38,93
12	COX. ASA 2		5,43%	21,73%	2.649	132,45
13	COX. ASA 3		5,43%	30,80%	3.754	208,54
14	COX. ASA 4		5,43%	1,55%	189	9,43
15	COX. ASA 5		5,81%	0,00%	0	0,00
16	MEIO DA ASA 1		2,79%	0,00%	0	0,00
17	MEIO DA ASA 2		2,79%	51,01%	3.200	213
18	MEIO DA ASA 3		2,79%	3,51%	220	18
19	MEIO DA ASA 4		2,79%	2,99%	188	10
20	MEIO DA ASA 5		2,79%	0,40%	25	1
21	FGO INTEIRO		89,05%	6,52%	13.000	650

Fonte: Autores (2015)

Conforme ilustrado na figura 2, as células variáveis serão os valores destacados em amarelo na coluna “F”. A resultante destas variáveis serão os quilogramas produzidos, encontrados na coluna “G” através da fórmula “=F8*D8*D\$4”.

3.4.4 Função Objetivo

Custo de produção: A empresa pesquisada não possuía uma informação concreta quanto ao custo de produção individual, por isso fez-se necessário o desdobramento dos custos de cada produto. O método utilizado foi o UEP (Unidade de esforço de produção), por ser o que melhor se encaixa no modelo de produção de um frigorífico e também por ser um método já consolidado em outras empresas do mesmo segmento. De acordo com Wernke (2005), a grande dificuldade das empresas em formar seu custo é o fato de serem em sua maioria multiprodutoras, e estarem sujeitos a rateios inconsistentes. O UEP mede o esforço necessário para se executar cada posto operativo e transforma todo este esforço em uma unidade de medida própria. Ao final, a empresa “deixará de produzir cortes de frango” e passará a produzir UEP’s, facilitando a atribuição dos custos fixos de produção aos produtos.

Preço: O preço de venda é obtido nos relatórios comerciais disponibilizados pelo sistema de produção e vendas para o período desejado.

Margem de contribuição: O estudo de caso desenvolvido usa a margem de contribuição unitária (MCU), que de acordo com Wernke (2005) consiste na diferença entre o preço de venda e os custos variáveis de produção. O custo da mão de obra direta foi desdobrado através das UEP’s enquanto os demais custos variáveis (matéria prima, embalagem, temperos etc.) foram obtidos através de fichas técnicas de consumo.

O produto entre o volume de quilogramas produzidos e a MCU será o valor que a modelagem deverá otimizar.

Figura 3 - Função Objetivo

	B	D	F	G	J	K
7	Descrição Edata	Rendimento Padrão	Mix (%)	Kg Produzido	Margem de Contribuição Unitária	Margem de Contribuição Total
20	MEIO DA ASA 5	2,79%			R\$ 3,10	R\$ -
21	FGO INTEIRO	89,05%			R\$ 1,15	R\$ -
22	PEITO COM OSSO 1	32,35%			R\$ 1,87	R\$ -
23	PEITO COM OSSO 2	32,35%			R\$ 1,89	R\$ -
24	PEITO COM OSSO 3	32,35%			R\$ 1,77	R\$ -
25	FILE DE PEITO 1	19,84%			R\$ 4,74	R\$ -
26	FILE DE PEITO 2	19,84%			R\$ 2,13	R\$ -
27	FILE DE PEITO 3	19,84%			R\$ 2,62	R\$ -
28	FILE DE PEITO 4	19,84%			R\$ 2,14	R\$ -
29	FILE DE PEITO 5	19,84%			R\$ 2,17	R\$ -
30	FILE DE PEITO 6	19,84%			R\$ 1,74	R\$ -
31	FILEZINHO SASSAMI 1	4,14%			R\$ 3,20	R\$ -
32	FILEZINHO SASSAMI 2	4,14%			R\$ 1,46	R\$ -
33	FILEZINHO SASSAMI 3	4,14%			R\$ 1,43	R\$ -
34	PELE DE PEITO	2,44%			R\$ 0,43	R\$ -
35	COXA 1	9,88%			R\$ 2,36	R\$ -
36	COXA 2	9,88%			R\$ 1,97	R\$ -
37	COXA 3	9,88%			R\$ 1,76	R\$ -
38	COXA COM SOBRECOXA COM PÇ DORSAL	30,81%			R\$ 1,50	R\$ -
39	COXA COM SOBRECOXA 1	25,40%			R\$ 2,41	R\$ -
40	COXA COM SOBRECOXA 2	25,40%			R\$ 1,98	R\$ -
41	COXA COM SOBRECOXA 3	25,40%			R\$ 2,05	R\$ -
42	COXA COM SOBRECOXA 4	25,40%			R\$ 1,93	R\$ -
43	FGO A PASSARINHO 1	25,40%			R\$ 1,05	R\$ -
44	FGO A PASSARINHO 2	25,40%			R\$ 1,50	R\$ -
45	COXA COM SOBRECOXA 5	27,18%			R\$ 1,76	R\$ -
46	COX./SOB. S/O C/P FGO CG LP-UA 18KG MI	18,20%			R\$ 1,66	R\$ -
47	COX./SOB. S/O FGO CG BJ-UA 12KG MI	18,20%			R\$ 3,19	R\$ -
48	COXAS E SOB FGO CG BJ-UA 20X480G PRI	18,20%			R\$ 4,24	R\$ -
49	SOBRECOXA FGO CG BJ-UA MI	15,49%			R\$ 2,61	R\$ -
50	SOBRECOXA FGO CG FP-UA 20KG MI	15,49%			R\$ 2,07	R\$ -
51	SOBRECOXA FGO CG LP-UA MI	15,49%			R\$ 2,09	R\$ -
52	SOBRECOXA FGO CG SC-UA 20KG MI	15,49%			R\$ 2,22	R\$ -
53						
54						
55	TOTAL DO MIX DE CORTES		0,00%	0	R\$	-

Fonte: Autores (2015)

Desta forma, como ilustrado na figura 3, a função objetivo será o valor da célula “K55”, através da fórmula “=SOMARPRODUTO(G8:G52;J8:J52)”

3.5 Modelagem Matemática

Para facilitar o entendimento desta modelagem, foi criada a seguinte legenda:

Legenda:

U_i = Percentual do mix de produção (U₁ à U₅₂)

AA = Aves abatidas

PM = Peso médio das aves

X_i = Volume (Kg) programado dos produtos (X₁ à X₅₂)

Y_i = Valores monetários (R\$) da Margem de Contribuição Unitária (Y₁ à Y₅₂)

LMA_i = Limite máximo (Kg) de vendas dos produtos (LMA₁ à LMA₅₂)

LMI_i = Limite mínimo(Kg) de vendas dos produtos (LMI1 à LMI52)

V1 = Soma de todo o filé de peito programado (%)

V2 = Soma de todo o filezinho de peito (sassami) programado (%)

V3 = soma de toda a pele de peito programada (%)

V4 = Soma de todo o meio da asa programado (%)

V5 = Soma de toda a coxinha da asa programada (%)

V6 = Soma de toda a coxa programada (%)

V7 = Soma de toda a sobrecoxa programada (%)

V9 = Soma de todo o Frango inteiro programado (%)

VFP = Soma de todos os produtos da família peito (%)

VFPER = Soma de todos os produtos da família perna (%)

VFA = Soma de todos os produtos da família asa (%)

FN_i = Número de funcionários necessários por setor

FP_i = Número de funcionários presentes por setor

CB = Capacidade máquina bandeja de cortes (Kg)

PB_i = Soma da programação dos produtos feitos em bandejas (Kg)

CFPPA = Capacidade máquinas envelopadoras (perna e asa)

PFPPA_i = Soma da programação de produtos envelopados (perna e asa)

CFPPCO = Capacidade máquinas envelopadoras (peito com osso)

PFPPCO_i = Soma da programação de produtos envelopados (peito com osso)

CFPPSO = Capacidade máquinas envelopadoras (filé de peito)

PFPPSO_i = Soma da programação de produtos envelopados (filé de peito)

Função objetivo:

$$\text{Max } Z = X_1 * Y_1 + X_2 * Y_2 + \dots + X_i * Y_i$$

Sujeito às restrições:

$$X_i = U_i * AA * PM$$

$$X_i \leq LMA_i$$

$$X_i \geq LMI_i$$

$$VFP = VFP - V_9$$

$$VFA = VFA - V_9$$

$$VFPER = VFPER - V_9$$

$$V_2 = V_1$$

$$V_3 = V_1$$

$$V4 = V5$$

$$V6 = V7$$

$$PBi \leq CB$$

$$PFPPAi \leq CFPPA$$

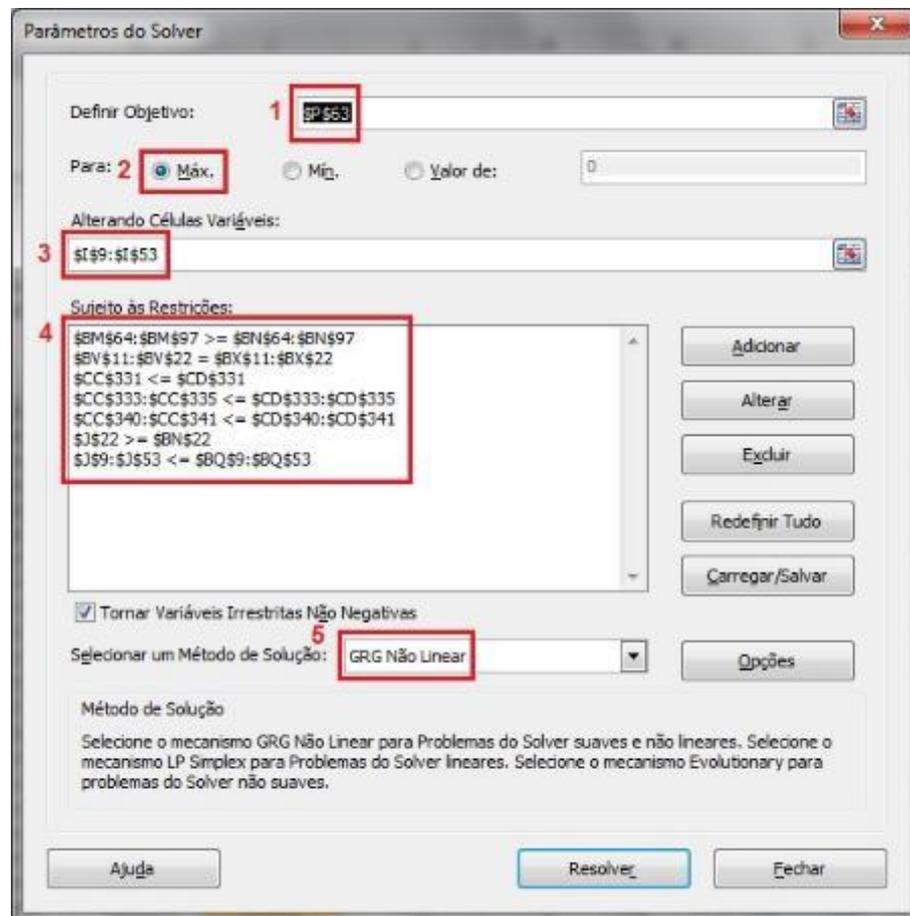
$$PFPPCOi \leq CFPPCO$$

$$PFPPSOi \leq CFPPSO$$

$$FNn \leq FPi$$

3.6 Parametrização do Solver

4 Figura 4 - Parâmetros do Solver



Fonte: Autores (2015)

Na representação do Solver da figura 4, temos as seguintes informações:

1. Definir Objetivo: É o endereçamento da célula que contém a fórmula com o resultado que se pretende otimizar. Neste caso, esta célula corresponde à margem de contribuição total (MCT).
2. Para: Campo que define o tipo de resposta que o modelo irá encontrar, neste caso, maximizar a MCT.
3. Alterando Células Variáveis: É o intervalo de células que o Solver irá gerar/alterar valores, afim de atingir o objetivo do modelo. Este intervalo corresponde aos percentuais de mix de cada produto que serão produzidos.
4. Sujeito às restrições: Estas são as restrições de produção e de mercado que o modelo exige para que o resultado seja coerente com as capacidades fabris e demandas de mercado.
5. Selecionar um Método de Soluções: Por se tratar de uma função não linear, a forma de se encontrar um resultado possível é o método do gradiente reduzido generalizado (em inglês, *Generalized Reduced Gradient- GRG*).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a execução do modelo para programação de um dia de produção corresponderia aos seguintes resultados, conforme mostra a figura 5.

Figura 5 - Função objetivo após execução do Solver

	B	D	F	G	J	K
7	Descrição Edata	Rendimento Padrão	Mix (%)	Kg Produzido	Margem de Contribuição Unitária	Margem de Contribuição Total
20	MEIO DA ASA 5	2,79%	0,40%	25	R\$ 3,10	R\$ 78,40
21	FGO INTEIRO	89,05%	6,52%	13.000	R\$ 1,15	R\$ 14.917,10
22	PEITO COM OSSO 1	32,35%	31,66%	22.878	R\$ 1,87	R\$ 42.884,32
23	PEITO COM OSSO 2	32,35%	8,23%	5.947	R\$ 1,89	R\$ 11.241,96
24	PEITO COM OSSO 3	32,35%	20,77%	15.008	R\$ 1,77	R\$ 26.604,38
25	FILE DE PEITO 1	19,84%	0,24%	106,84	R\$ 4,74	R\$ 506,81
26	FILE DE PEITO 2	19,84%	10,80%	4.744	R\$ 2,13	R\$ 10.099,81
27	FILE DE PEITO 3	19,84%	6,34%	2.784	R\$ 2,62	R\$ 7.290,32
28	FILE DE PEITO 4	19,84%	5,00%	2.197	R\$ 2,14	R\$ 4.709,45
29	FILE DE PEITO 5	19,84%	9,40%	4.129	R\$ 2,17	R\$ 8.955,80
30	FILE DE PEITO 6	19,84%	1,03%	454	R\$ 1,74	R\$ 791,54
31	FILEZINHO SASSAMI 1	4,14%	5,67%	526	R\$ 3,20	R\$ 1.681,79
32	FILEZINHO SASSAMI 2	4,14%	15,12%	1.403	R\$ 1,46	R\$ 2.041,61
33	FILEZINHO SASSAMI 3	4,14%	12,03%	1.116	R\$ 1,43	R\$ 1.597,09
34	PELE DE PEITO	2,44%	32,82%	1.809	R\$ 0,43	R\$ 780,04
35	COXA 1	9,88%	1,67%	369	R\$ 2,36	R\$ 872,56
36	COXA 2	9,88%	8,13%	1.799	R\$ 1,97	R\$ 3.539,87
37	COXA 3	9,88%	0,68%	151	R\$ 1,76	R\$ 266,30
38	COXA COM SOBRECORA COM PÇ DORSAL	30,81%	13,47%	9.301	R\$ 1,50	R\$ 13.917,74
39	COXA COM SOBRECORA 1	25,40%	0,71%	403	R\$ 2,41	R\$ 970,45
40	COXA COM SOBRECORA 2	25,40%	48,93%	27.814	R\$ 1,98	R\$ 55.055,34
41	COXA COM SOBRECORA 3	25,40%	9,89%	5.620	R\$ 2,05	R\$ 11.502,96
42	COXA COM SOBRECORA 4	25,40%	9,15%	5.200	R\$ 1,93	R\$ 10.059,51
43	FGO A PASSARINHO 1	25,40%	0,05%	27	R\$ 1,05	R\$ 28,43
44	FGO A PASSARINHO 2	25,40%	0,09%	53	R\$ 1,50	R\$ 79,56
45	COXA COM SOBRECORA 5	27,18%	0,00%	0	R\$ 1,76	R\$ -
46	COX./SOB. S/O C/P FGO CG LP-UA 18KG MI	18,20%	0,41%	169	R\$ 1,66	R\$ 280,26
47	COX./SOB. S/O FGO CG BJ-UA 12KG MI	18,20%	0,20%	80	R\$ 3,19	R\$ 253,67
48	COXAS E SOB FGO CG BJ - UA 20X480G PRI	18,20%	0,11%	45	R\$ 4,24	R\$ 189,42
49	SOBRECORA FGO CG BJ-UA MI	15,49%	1,35%	466	R\$ 2,61	R\$ 1.216,29
50	SOBRECORA FGO CG FP-UA 20KG MI	15,49%	3,74%	1.295	R\$ 2,07	R\$ 2.681,37
51	SOBRECORA FGO CG LP-UA MI	15,49%	4,90%	1.696	R\$ 2,09	R\$ 3.542,88
52	SOBRECORA FGO CG SC-UA 20KG MI	15,49%	0,50%	172	R\$ 2,22	R\$ 382,95
53						
54						
55	TOTAL DO MIX DE CORTES		66,49%	148.671		R\$ 295.648,95

Fonte: Autores (2015)

Seguindo os parâmetros das restrições do Solver a fim de maximizar a função objetivo (K55), o modelo gerou os percentuais da coluna "F", que corresponde ao volume de produção e margem de contribuição das colunas "G" e "K" respectivamente.

Para verificar a eficácia da ferramenta, pegamos o histórico da produção realizada em um determinado mês e em seguida as informações de entrada deste mesmo período, tais como volume de abate, peso médio das aves etc. Os dois mixes de produção apresentaram resultados bem diferentes como nos mostra a figura 6.

Figura 6 - Simulação de resultados

	C	G	H	I	J	P	Q	R
7	Descrição	Margem de Contribuição Unitária (MCU)	Mix Realizado			Mix Otimizado		
8			Mix (%)	Kg Produzido	Margem de Contribuição Total	Mix (%)	Kg Produzido	Margem de Contribuição Total (MCT)
9	ASA 1	R\$ 2,20	1,27%	5.328	R\$ 11.695,32	1,95%	8.190	R\$ 17.977,60
10	ASA 2	R\$ 1,98	33,93%	142.704	R\$ 282.051,81	33,12%	139.308	R\$ 275.339,00
11	ASA 3	R\$ 1,71	7,81%	32.860	R\$ 56.269,49	3,31%	13.923	R\$ 23.841,76
12	COX ASA 1	R\$ 2,20	2,90%	7.332	R\$ 16.550,86	4,15%	10.483	R\$ 23.664,21
13	COX ASA 2	R\$ 1,85	16,90%	42.700	R\$ 78.976,04	37,78%	95.453	R\$ 176.546,51
14	COX ASA 3	R\$ 1,81	25,20%	53.666	R\$ 115.359,10	11,35%	28.665	R\$ 51.939,32
15	COX ASA 4	R\$ 0,75	2,34%	5.916	R\$ 4.427,28	0,91%	2.293	R\$ 1.716,13
18	MEIO DA ASA 2	R\$ 4,99	38,10%	49.455	R\$ 246.803,41	48,53%	63.000	R\$ 314.399,25
19	MEIO DA ASA 3	R\$ 1,85	7,00%	9.084	R\$ 16.823,40	3,03%	3.931	R\$ 7.280,51
20	MEIO DA ASA 4	R\$ 2,65	5,81%	7.542	R\$ 20.020,79	2,50%	3.243	R\$ 8.609,42
21	MEIO DA ASA 5	R\$ 1,52	1,09%	1.412	R\$ 2.143,91	0,13%	164	R\$ 248,71
22	FGO INTEIRO	R\$ 0,77	7,32%	310.122	R\$ 237.501,20	7,44%	315.000	R\$ 241.236,93
23	PEITO COM OSSO 1	R\$ 1,42	23,93%	354.473	R\$ 504.870,20	33,91%	502.359	R\$ 715.502,31
24	PEITO COM OSSO 2	R\$ 1,29	5,84%	86.454	R\$ 111.411,98	8,36%	123.833	R\$ 159.581,48
25	PEITO COM OSSO 3	R\$ 1,14	15,42%	228.420	R\$ 261.074,75	14,74%	218.378	R\$ 249.597,31
26	FILE DE PEITO 1	R\$ 4,26	0,12%	1.084,80	R\$ 4.623,40	0,15%	1.375,92	R\$ 5.864,14
27	FILE DE PEITO 2	R\$ 1,87	21,34%	193.864	R\$ 362.103,24	13,90%	126.290	R\$ 235.887,35
28	FILE DE PEITO 3	R\$ 2,20	4,27%	38.820	R\$ 85.357,90	6,13%	55.692	R\$ 122.456,26
29	FILE DE PEITO 4	R\$ 1,76	9,02%	81.918	R\$ 143.861,15	7,42%	67.371	R\$ 118.314,18
30	FILE DE PEITO 5	R\$ 1,69	16,62%	151.008	R\$ 254.525,92	7,12%	64.701	R\$ 109.054,37
31	FILE DE PEITO 6	R\$ 0,88	1,92%	17.440	R\$ 15.374,85	0,83%	7.535	R\$ 6.642,57
32	FILEZINHO SASSAMI 1	R\$ 2,72	4,25%	8.052	R\$ 21.876,74	6,91%	13.104	R\$ 35.802,68
33	FILEZINHO SASSAMI 2	R\$ 0,97	14,38%	27.252	R\$ 26.384,71	18,97%	32.176	R\$ 31.151,80
34	FILEZINHO SASSAMI 3	R\$ 0,95	23,08%	43.758	R\$ 41.480,74	11,66%	22.113	R\$ 20.962,19
35	PELE DE PEITO	-R\$ 4,38	51,84%	25.460	-R\$ 111.450,97	35,55%	17.460	-R\$ 76.432,19
36	FGO A PASSARINHO 1	R\$ 0,22	0,01%	126	R\$ 27,29	0,00%	0	R\$ -
37	FGO A PASSARINHO 2	R\$ 0,98	0,22%	2.646	R\$ 2.590,78	0,09%	1.032	R\$ 1.010,41
38	COXA COM SOBRECOPA 1	R\$ 1,00	25,03%	366.642	R\$ 365.325,04	11,89%	171.155	R\$ 170.539,84
39	COXA COM SOBRECOPA 2	R\$ 0,96	0,45%	5.376	R\$ 5.149,50	0,19%	2.260	R\$ 2.165,20
40	COXA COM SOBRECOPA 3	R\$ 1,52	34,07%	411.420	R\$ 627.263,84	52,28%	631.176	R\$ 962.310,73
41	COXA COM SOBRECOPA 4	R\$ 1,52	7,11%	85.806	R\$ 130.504,79	10,17%	122.850	R\$ 188.846,07
42	COXA COM SOBRECOPA 5	R\$ 1,40	16,59%	200.330	R\$ 279.755,04	12,96%	156.493	R\$ 218.538,43
44	COXA COM SOBRECOPA 7	R\$ 2,55	0,07%	576	R\$ 1.470,58	0,09%	786	R\$ 2.007,34
45	COXA COM SOBRECOPA SI OSSO 1	R\$ 0,61	0,91%	7.891	R\$ 4.818,97	0,32%	2.801	R\$ 1.710,54
46	COXA COM SOBRECOPA SI OSSO 2	R\$ 0,73	0,28%	2.446	R\$ 1.783,34	0,07%	590	R\$ 429,93
47	COXA 1	R\$ 0,56	1,05%	4.932	R\$ 2.746,73	0,46%	2.162	R\$ 1.204,15
48	COXA 2	R\$ 0,84	6,66%	31.279	R\$ 26.430,38	3,55%	16.680	R\$ 14.094,03
49	COXA 3	R\$ 1,67	0,54%	2.540	R\$ 4.240,66	0,70%	3.276	R\$ 5.469,45
50	SOBRECOPA 1	R\$ 1,51	0,92%	6.768	R\$ 10.230,20	0,40%	2.948	R\$ 4.456,66
51	SOBRECOPA 2	R\$ 1,69	2,34%	17.260	R\$ 29.117,19	2,45%	18.018	R\$ 30.395,92
52	SOBRECOPA 3	R\$ 1,41	3,92%	28.854	R\$ 40.723,29	1,66%	12.236	R\$ 17.269,17
53	SOBRECOPA 4	R\$ 1,66	0,44%	3.240	R\$ 5.389,32	0,20%	1.474	R\$ 2.452,14
54								
55				3.114.256	4.347.684		3.081.979	4.497.884
56	Diferença mensal de MC:			0 R\$	-		-32.277 R\$	150.200

Fonte: Autores (2015)

Na figura 6, temos a descrição dos produtos analisados, margem de contribuição unitária (por quilograma) dos produtos e um comparativo entre o mix de produção realizado e o otimizado, utilizando exatamente os mesmos parâmetros.

Analisando a sessão do mix realizado, temos a coluna "P" (Mix %), que corresponde aos valores percentuais que o modelo programou para cada produto. A coluna "Q" (Kg produzido) equivale ao volume de produção resultante do percentual programado e a coluna "R" (Margem de contribuição total) é o resultado da multiplicação entre os valores de quilogramas produzidos e margem de contribuição unitária (colunas "Q" e "G"). Quando comparamos a soma da margem de contribuição total do mix realizado

e otimizado, podemos perceber uma diferença de R\$ 150.200 no mix otimizado, valor que pode melhorar significativamente os resultados globais da indústria.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo e sua aplicação pôde gerar resultados positivos à organização, possibilitando um acréscimo mensal de aproximadamente R\$150.200,00 em seus resultados. A metodologia aplicada é de fácil utilização, o que torna o profissional de planejamento da produção mais analítico e menos operacional. O potencial deste trabalho poderá ter cada vez mais êxito conforme o setor de produção consiga aproximar ao máximo as diferenças entre a produção prevista no mix e realizada efetivamente.

Para que haja um crescimento progressivo nos resultados da indústria, o setor comercial deverá estar em constante busca de prospecção de mercados para os produtos mais rentáveis. Desta forma, as restrições de mercado para tais produtos diminuirão, aumentando assim seu volume de produção/ vendas e conseqüentemente os resultados da organização.

6.1 Trabalhos Futuros

Pensando em tornar as cobranças do atendimento do mix mais eficazes, poderá ser feito diariamente um comparativo do mix previsto e realizado, mostrando as margens de contribuição do que foi programado e realizado, a partir da alimentação de um banco de dados no próprio Excel, com os dados da programação e produção. Objetivando facilitar a execução do mix programado, poderá ser feito de forma atrelada ao mix ideal um indicador de quantidade de funcionários necessários em cada operação, para a realização volume programado de cada produto. Este relatório poderá ser como um “mapa”, para que com base na produtividade de cada operação, os encarregados e supervisores possam saber a quantidade de horas de trabalho necessária para realizar o mix, o que aumentaria a assertividade e produtividade.

7 REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eduardo L. **Introdução à pesquisa operacional**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V. A.; MORABITO, R.; YANASSE, H. H. **Pesquisa operacional: para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro. Campus/elsevier, 2007.

BELFIORE, Patrícia. FÁVERO, Luiz Paulo. **Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Campus/ Elsevier, 2013.

BODANESE, Ronaldo Enderli. OLIVEIRA, José Adrelino de. SCALABRIN, Idionir. MOROS, Claudionor José. Teoria das restrições, pesquisa operacional e programação linear, estudo de caso com utilização do solver. Artigo. IX CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS. Florianópolis, SC. 2005.

CASSEL, Ricardo Augusto. ANTUNES JR., José Antônio Valle. OENNING, Vilmar. **Maximização da lucratividade em produção conjunta: um caso na indústria frigorífica**. Artigo. Prod., São Paulo, SP, 2006.

EMBRAPA. Agência Embrapa de informação tecnológica. **Árvore do conhecimento: Corte de frango**. 2013. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/frango_de_corte/Abertura.html>. Acesso em 24 Abr. 2015.

FRONTLINE SYSTEMS. **Excel solver: overview and example**. 2015. Disponível em: <<http://www.solver.com/excel-solver-overview-and-example>>. Acesso em 21 de Outubro de 2015.

HILLIER, F.S. e LIEBERMAN G.J. **Introdução à pesquisa operacional**. 8. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

LISBOA, Erico Fagundes Anicet. Pesquisa Operacional. 2002. Disponível em <<http://www.ericolisboa.eng.br/cursos/apostilas/po/index.htm>>. Acesso em 19/10/2015.

MARINS, Fernando Augusto Silva. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2011.

PLATA, L.; CONCEIÇÃO, Adriel Vicente da. **O agronegócio brasileiro: análise das principais commodities**. Artigo. Fatec, Itapetinga, SP, 2012.

WERNKE, Rodney. **Análise de custos e preço de venda: ênfase em aplicações e casos nacionais**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.