

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Ferramenta para maximização do lucro de laticínios pelo planejamento do mix ótimo de produtos lácteos e precificação dos componentes do leite cru**

**Rafael Cedric Möller Meneghini**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

**Piracicaba  
2014**

**Rafael Cedric Möller Meneghini**  
**Médico Veterinário**

**Ferramenta para maximização do lucro de laticínios pelo planejamento do mix ótimo de produtos lácteos e precificação dos componentes do leite cru**  
**Versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011.**

Orientador:  
Prof. Dr. **PAULO FERNANDO MACHADO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

**Piracicaba**  
**2014**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Meneghini, Rafael Cedric Möller

Ferramenta para maximização do lucro de laticínios pelo planejamento do mix ótimo de produtos lácteos e precificação dos componentes do leite cru / Rafael Cedric Möller Meneghini.- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.

97 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Programação linear 2. Otimização 3. Pesquisa Operacional 4. Preço-sombra  
5. Pagamento do leite 6. Qualidade do leite 7. Proteína do leite 8. Gordura do leite  
9. Caseína 10. Produtos lácteos 11. Queijo I. Título

CDD 637.1  
M541f

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte -O autor"**

## DEDICATÓRIA

À minha Mãe Ieda Maria Möller pelo carinho e amor incondicionais.

Ao meu Pai Paulo Cezar Meneghini e sua Esposa Marina N. A. Meneghini, pelo incentivo, apoio e amor imprescindíveis.

À Andressa S. Natel e ao Emílio pelo amor, carinho, paciência, motivação, estímulo e incentivo durante toda esta jornada.

Aos meus Irmãos João Pedro, Michael, Andrea e Deborah pela imensa amizade e momentos agradáveis em suas companhias.

Aos meus Sobrinhos Henry, Johann, Martim, Lorena, Talita, Cao e Gael.

À minha Avó Ignês Soares (*In Memoriam*), pelo amor, carinho, conselhos, ensinamentos e momentos agradáveis e inesquecíveis em sua companhia.

**Com imensa honra dedico  
e ofereço.**



## AGRADECIMENTOS

A Deus pela complexidade de sua criação que possibilita o milagre da vida.

À Universidade de São Paulo, instituição de ensino, pesquisa e extensão que dá orgulho, prestígio e desenvolvimento ao Estado de São Paulo e ao Brasil.

À Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo pela minha formação profissional.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, especialmente aos professores, funcionários e amigos da graduação e pós-graduação por possibilitarem a expansão do conhecimento e aprimoramento científico e profissional.

Ao meu orientador Paulo Fernando Machado por ter depositado confiança em meu trabalho e pelos ensinamentos que contribuíram para meu aperfeiçoamento profissional e científico.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de Doutorado.

A toda equipe da Clínica do Leite, especialmente ao Laerte, Augusto, Thiago, Rafael, Fabio, Beatriz, Aline, Juliana, Lilian, Glauber, Juan e Angélica.

Aos professores João G. Martines Filho, Vitor Ozaki, Fernando Peres, Mirian R. P. Bacchi, Marcos V. Santos, José V. Caixeta Filho e Pedro M. Valentim e ao amigo Carlos E. O. Xavier por contribuírem intelectualmente no projeto.

À toda equipe da COPLAC, especialmente ao Fernando S. Codo e Jacqueline Gerage por contribuir com a realização desta pesquisa.

Aos amigos da República Lar dos Velhinhos (Kneco, Broña, Adir, Saimon, Salim e Batebola), aos amigos “Caipiracicabanos” e da Família Caputi (Eugênio, Inês, Bruno, Fernanda e Alessandra) pelo apoio, amizade, companheirismo, conselhos e momentos de descontração muito agradáveis.

Aos amigos da FMVZ/USP, em especial aos da 68ª Turma (Os Pelicanos) pela amizade durante a graduação, hoje e sempre.

E a todos que indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.



## SUMÁRIO

RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	11
LISTA DE FIGURAS .....	13
LISTA DE TABELAS .....	15
LISTA DE SIGLAS .....	17
LISTA DE SÍMBOLOS .....	19
1 INTRODUÇÃO .....	21
1.1 Revisão bibliográfica .....	22
1.1.1 A agroindústria leiteira: os laticínios .....	22
1.1.2 Matéria-prima da agroindústria leiteira: a importância da qualidade do leite cru para os laticínios .....	24
1.1.3 O problema do planejamento da produção do ‘mix’ de produtos lácteos nos laticínios .....	27
1.1.4 Sistemas de pagamento do leite cru praticados no mundo .....	33
1.1.5 Sistemas de pagamento do leite cru praticados no Brasil .....	37
1.1.6 Fatores que afetam o valor do leite .....	42
1.1.7 Requisitos e benefícios de precificação do leite cru pela qualidade .....	45
Referências .....	49
2 É POSSÍVEL PLANEJAR O MIX DE PRODUTOS QUE MAXIMIZA O LUCRO EM LATICÍNIOS? .....	55
Resumo .....	55
Abstract .....	55
2.1 Introdução .....	55
2.2 Material e métodos .....	57
2.2.1 Cenários .....	58
2.2.2 Variáveis de decisão e equações .....	59
2.2.3 Restrições .....	63
2.3 Resultados e discussão .....	65
2.4 Conclusões .....	69
Referências .....	69
3 QUANTO VALE O LEITE CRU E SEUS COMPONENTES PARA OS LATICÍNIOS? .....	75
Resumo .....	75
Abstract .....	75



3.1	Introdução .....	76
3.2	Material e métodos.....	77
3.2.1	Cenários.....	78
3.2.2	Variáveis de decisão e equações .....	79
3.2.3	Restrições .....	84
3.3	Resultados e discussão .....	86
3.4	Conclusões .....	91
	Referências.....	91
4	CONCLUSÕES GERAIS .....	95
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	97

## RESUMO

### **Ferramenta para maximização do lucro de laticínios pelo planejamento do mix ótimo de produtos lácteos e precificação dos componentes do leite cru**

Pequenos e médios laticínios têm grandes dificuldades no planejamento da produção para maximizar o lucro. Além disso, a forma atual de precificar o leite cru no Brasil desestimula o produtor a melhorar sua qualidade, pois valoriza mais seu volume do que seus componentes sólidos. A composição do leite cru é muito importante para os laticínios, pois ela afeta diretamente o rendimento de produção e a qualidade dos produtos lácteos. Técnicas de otimização, como programação linear (PL), ajudam a resolver problemas relacionados à decisão do mix de produtos, além de fazer análise econômica dos recursos. Em razão disso, foi desenvolvido em PL um modelo para maximização da margem de contribuição total ( $MCT = \text{receita total das vendas} - \text{custos e despesas diretas totais}$ ) e precificação do leite cru através da determinação do mix ótimo de produtos lácteos. O modelo foi simulado em cenários diários de alta (Janeiro) e baixa (Julho) disponibilidade de matéria prima comparando as soluções ótimas com resultados reais de um laticínio do sudeste do Brasil. Foram realizadas análises de sensibilidade dos componentes nutritivos de dois tipos de leite cru de diferentes composições (LC1, leite cru proveniente de um fornecedor, e LC50, leite cru proveniente de 50 fornecedores) para determinar seus preços-sombra. Foram observados preços-sombra para o quilograma da caseína em Janeiro e Julho e para o litro do LC50 em Julho. A MCT ótima e os preços calculados de ambos os tipos de leite cru foram maiores em Janeiro devido à maior disponibilidade de matéria prima. Em ambos os cenários, os preços calculados de ambos os tipos de leite cru foram maiores que os praticados pelo laticínio e o lucro antes de juros, impostos, depreciação e amortização (LAJIDA) diário real foi maior que o ótimo. A embaladora foi um recurso limitante atuante na produção do queijo Minas Frescal nos mixes ótimos. A relação entre margem de contribuição unitária ( $MCU = \text{preço unitário de venda} - \text{custo e despesa diretos unitários}$ ) e quantidade necessária de matéria prima por unidade de produto e a disponibilidade de recursos são determinantes na definição do mix de produtos lácteos e da MCT do laticínio. A precificação do leite cru pelo modelo proposto remunera o produtor em função da quantidade de seus componentes. O laticínio pode maximizar seu LAJIDA planejando melhor seu mix de produtos com PL e remunerando melhor seus fornecedores em função da qualidade do leite cru.

**Palavras-chave:** Programação linear; Otimização; Pesquisa Operacional; Preço-sombra; Pagamento do leite; Qualidade do leite; Proteína do leite; Gordura do leite; Caseína; Produtos lácteos; Queijo



## ABSTRACT

### **Tool for maximizing profit of dairies by planning of the optimal mix of dairy products and by pricing the raw milk components**

Small and medium-sized dairies face great difficulties in production planning to maximize profit. In addition, the current way of pricing the raw milk in Brazil discourages producers to improve its quality because its volume values more than its solid components. The raw milk composition is very important for the dairies because it directly affects the yield and quality of dairy products. Optimization techniques, such as linear programming (LP), aid solve problems related to the decision of the product mix and perform economic analyzes of resources. For this reason, a model was developed in LP to maximizing total contribution margin ( $TCM = \text{total sales revenues} - \text{total variable costs and expenses}$ ) and pricing the raw milk by determining the optimal mix of dairy products. The model was simulated in two daily scenarios of high (January) and low (July) availability of raw material comparing the optimal solutions with actual results from a dairy plant in Southeastern Brazil. Sensitivity analyzes of the nutritional components of two kinds of raw milk of different compositions (RM1 and RM50) were performed to determine their shadow-prices. Shadow-prices were observed for the kilogram of casein in January and July and for the liter of RM50 in July. The optimal TCM and the calculated prices of both types of raw milk were higher in January due the increased availability of raw materials. In both scenarios, the calculated prices of both types of raw milk were higher than those paid by the dairy plant and the actual daily earnings before interests, taxes, depreciation and amortization (EBITDA) were greater than the optimum ones. The wrapper was an active limiting resource in the production of Frescal Minas cheese in optimal mixes. The relationship between unit contribution margin ( $UCM = \text{unit sales price} - \text{unit variable cost and expense}$ ) and required amount of raw material per unit of output and resource availability are crucial in defining the mix of dairy products and the dairy TCM. The proposed raw milk pricing model pays the producer by the quantity of its components. The dairies can maximize their EBITDA planning their product mixes with LP and remunerating their suppliers based on the quality of raw milk.

**Keywords:** Linear programming; Optimization; Operations Research; Shadow price; Milk payment; Milk quality; Milk protein; Fat milk; Casein; Dairy products; Cheese



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação percentual do pagamento por qualidade, por volume e por qualidade e volume em alguns estados brasileiros.....	38
Figura 2 - Comportamento do preço do leite nos principais estados brasileiros produtores de leite de janeiro de 2000 a julho de 2010.....	42
Figura 3 – Fluxograma resumido de processos adotados na metodologia da pesquisa.....	58
Figura 4 – Fluxograma resumido de processos adotados na metodologia da pesquisa.....	78



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tarifas canadenses sobre produtos lácteos importados .....	35
Tabela 2 - Formas de pagamento aos produtores de leite (%) em diferentes estados do Brasil	38
Tabela 3 – Tabelas de valores de bonificação/penalização em função dos parâmetros de qualidade do leite, como gordura, proteína, contagem de células somáticas e contagem bacteriana total.....	48
Tabela 4 – Volumes e teores médios dos componentes dos dois tipos de leite cru captados pelo laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011 .....	58
Tabela 5 – Coeficientes de utilização de recursos por unidade (L ou kg) de produto lácteo nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011 .....	60
Tabela 6 – Valores das variáveis de cada uma das equações de quantidade, volume e rendimento de matérias-primas, produtos lácteos intermediários e finais nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011.....	63
Tabela 7– Restrições médias de volumes e componentes dos dois tipos de leite cru captados pelo laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011 .....	65
Tabela 8 – Combinações e margens de contribuição ótimas e reais dos mixes de produtos lácteos produzidos nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011 .....	66
Tabela 9 – Relação entre as margens de contribuição unitárias e as quantidades necessárias de matérias primas (leite cru e seus componentes) dos produtos lácteos nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011 .....	68
Tabela 10 – Volumes em litro (L) e teores médios dos componentes dos dois tipos de leite cru captados pelo laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011 .....	79
Tabela 11 – Coeficientes de utilização de recursos por unidade (L ou kg) de produto lácteo nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011 .....	80
Tabela 12 – Valores das variáveis de cada uma das equações de quantidade, volume e rendimento de matérias-primas, produtos lácteos intermediários e finais nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011.....	83
Tabela 13 – Restrições médias de volumes e componentes dos dois tipos de leite cru captados pelo laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011 .....	86
Tabela 14 – Saldos e preços-sombra dos recursos do laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011.....	87



Tabela 15 – Margens de contribuição total, custos indiretos médios ponderados por litro de leite cru, preços máximos, praticados e intermediários dos dois tipos de leite cru e LAJIDAS do laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011 .....89

Tabela 16 – Volumes, composições, preços e receitas totais máximas do leite cru produzido por dois fornecedores do laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011.....90

## LISTA DE SIGLAS

BA – Bahia

C40 – Creme de leite com 40% de gordura da padronização dos leites LB e LR

CBT – Contagem bacteriana total

CCS – Contagem de células somáticas

CDC – Canadian Dairy Commission

CMSMC – Canadian Milk Supply Management Committee

Conseleite - PR – Conselho Paritário Produtores e Indústrias de Leite do Estado do Paraná

EBITDA – Earnings before interests, taxes, depreciation and amortization

EBITDA – Earnings before interests, taxes, depreciation and amortization

EUA – Estados Unidos da América

FAEP – Federação da Agricultura do Estado do Paraná

FSA – Farm Service Agency's

GAO – Government Accountability Office

GO – Goiás

ITU – Índice de temperatura e umidade

Jan – Janeiro

Jul – Julho

LAJIDA – Lucro antes de juros, impostos, depreciação e amortização

LB – Leite fluído pasteurizado tipo B padronizado com 3% de gordura

LC1 – Leite cru integral proveniente de um fornecedor

LC50 – Leite cru integral proveniente de 50 fornecedores

LP – Linear programming

LR – Leite fluído pasteurizado resfriado padronizado com 3% de gordura

MB – Queijo Mussarela Bola

MC – Queijo Mussarela Comum

MCT – Margem de contribuição total

MCU – Margem de contribuição unitária

MF – Queijo Minas Frescal

MG – Minas Gerais

MILC – Milk income loss contract

MP – Queijo Minas Padrão

NMMP – National Milk Marketing Plan

PB – Queijo Provolone Bola

PL – Programação linear

PR – Paraná

PT – Queijo Provolone Temperado

PVQ – Programa de valorização da qualidade

RC – Ricota

RM1 – Raw Milk from an unique supplier

RM50 – Raw milk from 50 suppliers

RS – Rio Grande do Sul

SENAR - PR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural do Estado do Paraná

Sindileite – Sindicato da Indústria de Laticínios e Produtos Derivados do Paraná

SP – São Paulo

SPVQ – Sem programa de valorização da qualidade

TCM – Total contribution margin

UAT – Ultra alta temperatura

UCM – Unit contribution margin

UFC – Unidades formadoras de colônia

UFPR – Universidade Federal do Paraná

UHT – Ultra high temperature

UR – Umidade relativa do ar

USDA – United States Department of Agriculture

## LISTA DE SÍMBOLOS

% – porcentagem

h – horas

Kg – quilograma

L – litro

mL – mililitro

mm - milímetros

°C – Graus Celsius

°H – Graus Hornic

R\$ - Reais



## 1 INTRODUÇÃO

A definição do mix de produtos lácteos é um dos principais desafios que os gerentes de produção dos pequenos e médios laticínios enfrentam rotineiramente, pois o planejamento da produção, geralmente diário ou semanal, exige mais conhecimento de critérios objetivos (técnico-econômicos) do que subjetivos (experiência). Esses laticínios de pequeno e médio porte, para maximizarem seus lucros e serem competitivos, devem otimizar o uso de sua estrutura e recursos disponíveis sem a necessidade de investimentos ou custos extras. Para tanto, o gerente de produção deve ter conhecimento de coeficientes técnicos de rendimento de produção, de ferramentas de informática de suporte à decisão, da capacidade das máquinas e equipamentos, de conceitos econômicos e gerenciais. No entanto, grande parte das plantas processadoras de leite não utilizam esses conhecimentos necessários e adotam práticas inadequadas e obsoletas de gestão da produção, perdendo competitividade.

Além disso, as indústrias do setor leiteiro praticam sistemas de pagamento que determinam valor ao volume do leite em litros (L). Este tipo de remuneração ao produtor de leite não o incentiva a investir em tecnologias que melhore a qualidade do leite produzido e fornecido à indústria beneficiadora. Tal sistema de pagamento remunera os produtores injustamente. Produtores de leite de qualidade superior recebem o mesmo valor por L de leite vendido à indústria que os produtores de leite de qualidade inferior. Adicionalmente, indústrias beneficiadoras de leite que dependem dos seus componentes sólidos nutritivos para aumentar a produção e o rendimento de produtos lácteos como queijos, manteiga, leite em pó, etc. são prejudicadas com esta forma de pagamento, pois pagam por um componente do leite que não lhes interessam, a água. É interessante para as indústrias que processam derivados lácteos pagar o fornecedor de leite cru pela matéria prima de interesse para produção de produtos lácteos sólidos.

Em função dessas demandas, foi desenvolvido em programação linear um modelo de apoio à decisão do mix (combinação das quantidades de produtos) ótimo de produtos lácteos para maximizar o lucro de laticínios e precificar o leite cru em função da quantidade e dos preços-sombra de seus componentes sólidos nutritivos (proteína, caseína e gordura). Assim, as indústrias otimizarão o uso dos recursos e estruturas disponíveis, os produtores serão corretamente remunerados e o consumidor será beneficiado com produtos de boa qualidade.

## 1.1 Revisão bibliográfica

### 1.1.1 A agroindústria leiteira: os laticínios

O sistema agroindustrial do agronegócio leiteiro é composto por pequenas, médias e grandes indústrias e cooperativas leiteiras internacionais e nacionais totalizando aproximadamente dois mil laticínios que empregam aproximadamente 150 mil pessoas (DE CARVALHO et al., 2013). É caracterizado como oligopsônio, em que a concorrência é imperfeita, havendo excesso de fornecedores de insumo (leite cru) em relação às indústrias que compram a matéria-prima (BICALHO; MACHADO; PAÇO-CUNHA, 2008). No entanto, a concorrência entre os laticínios para compra da matéria prima é heterogênea e regionalizada. Dependendo da região, pode haver mais ou menos plantas processadoras de leite, influenciando o preço pago ao produtor de leite cru (DE CARVALHO et al., 2013).

Estudo sobre planejamento de produção de derivados lácteos de Minas Gerais revelou que a maioria dos laticínios possui baixo volume de captação de leite e pequena diversidade de produtos lácteos. Adicionalmente, boa parcela de seus gestores não desfruta de ferramentas de apoio à programação e tomada de decisão no processo produtivo e utilizam métodos tradicionais de apuração de custos de produção. As práticas gerenciais são atrasadas e de cunho familiar e o planejamento é feito mais em função de aspectos subjetivos, como a experiência do responsável, do que em aspectos objetivos, como as margens de contribuição dos produtos. Em razão disso, pequenas cooperativas e usinas beneficiadoras de leite têm perdido competitividade para as grandes empresas do setor lácteo (ALMEIDA JÚNIOR, 2004).

Sessenta e cinco por cento dos laticínios mineiros captavam diariamente menos de 20.000 L de leite, sendo que 35% captavam até 5.000 L. Quanto à mão de obra, 59% das processadoras de leite empregavam até 20 funcionários, o que caracteriza a maioria desses laticínios como micro e pequenas empresas (até 99 funcionários), segundo o SEBRAE. A maioria das processadoras de lácteos (82,5%) produzia algum tipo de queijo devido à facilidade de comercialização desse tipo de produto além da falta de estrutura tecnológica e administrativa que impossibilita a produção de outros derivados lácteos. Manteiga e requeijão também eram produzidos por mais da metade das indústrias de laticínios devido às boas margens de lucro e para aproveitar o creme proveniente do processamento de outros produtos. Apenas 10% das indústrias produziam leite esterilizado (UAT, UHT ou “longa vida”) devido à exigência de instalações de alto custo e mão de obra qualificada que dificultam sua

disseminação. Em relação à quantidade de produtos, apenas 20% dos laticínios fabricavam mais de 20 itens demonstrando baixo nível tecnológico e gerencial. Empresas líderes do setor leiteiro com alto nível tecnológico e administrativo, como a Nestlé, Danone, Itambé, etc. apresentam linha de produtos com quantidade maior que 20 itens atendendo diferentes nichos de mercado (ALMEIDA JÚNIOR, 2004).

Quanto à contabilidade empresarial, 77,5% das empresas faziam controle de custos de produção. Dessas empresas que realizavam controle de custos, 38,7% calculavam por custo direto, 22,6% por centro de custo e 16,1% por volume de produção. Esses métodos de cálculo de custos são pouco precisos na determinação de custos unitários, principalmente quando a razão entre custos indiretos e diretos é alta. No entanto, 67,7% e 32,3% das indústrias apresentavam alta e média confiança nesses métodos de custeio, respectivamente (ALMEIDA JÚNIOR, 2004).

O método de determinação de custos mais adequado para empresas com atividades padronizadas é a alocação por custo-padrão com uso de coeficientes técnicos de produção. No caso de indústrias leiteiras, esses coeficientes podem ser quantidade de leite, embalagens, ingredientes, etc. necessários para produzir uma unidade de produto lácteo. Apenas 6,5% dos laticínios mineiros usavam essa técnica de custeio (ALMEIDA JÚNIOR, 2004).

Das indústrias avaliadas, 82,5% planejavam a quantidade de produtos a serem processados, sendo que 84,8% destes laticínios realizavam a programação da produção diariamente ou semanalmente. Além disso, 97% e 63,6% deles não utilizavam métodos matemáticos e nem programas computacionais específicos, respectivamente, como apoio gerencial no planejamento da produção. As empresas que não realizavam planejamento da produção alegaram não ser necessário devido à pequena quantidade de produtos, à constância da produção ao longo do tempo, ao rápido giro dos produtos fabricados ou ao processo de organização da indústria para implantação da programação de produção. Entretanto, 54,5% dos laticínios relataram que há forte variação no tipo e na quantidade de produtos fabricados ao longo do ano. Os demais laticínios declararam haver pouca (36,4%) ou nenhuma (9,1%) variação anual na linha de produtos (ALMEIDA JÚNIOR, 2004). Esses índices podem ser explicados pela instabilidade no setor agroindustrial leiteiro onde há alta variação em quantidade e qualidade de matérias-primas e insumos e está sujeito às mudanças econômicas do mercado.

Dentre as principais dificuldades para programar a quantidade de produtos, 24,2% das firmas apontaram o planejamento de compra de matérias-primas e insumos,



enquanto que 15,2%, 12,1% e 9,1% das empresas relataram dificuldades em programar as quantidades de produtos, planejar vendas e controlar estoques, respectivamente. Em contrapartida, quase 40% dos laticínios relataram não ter dificuldades para programar a produção. Apesar de 48,5% das indústrias terem considerado desnecessária a adoção de medidas adicionais para melhoria na programação de produção, cerca de 60% delas depositavam razoável a muita confiança num programa computacional específico para auxiliar no planejamento da produção (ALMEIDA JÚNIOR, 2004).

Em relação aos fatores que possivelmente poderiam influenciar no processo de decisão da produção (experiência do responsável, históricos de produção, margem de contribuição, disponibilidade de mão de obra, capacidade de equipamentos, disponibilidade de matéria prima, pedidos e encomendas), quase 40% dos responsáveis pelas empresas consideraram que a capacidade de equipamentos, a disponibilidade de mão de obra e a margem de contribuição não tinham nenhuma importância no planejamento da produção, enquanto que a experiência do responsável (acima de 80%), os pedidos e encomendas dos clientes (acima de 60%) e a disponibilidade de matéria-prima (acima de 60%) foram consideradas como fatores de muita importância no processo de programação da produção (ALMEIDA JÚNIOR, 2004).

Essas evidências justificam o baixo potencial competitivo das pequenas indústrias leiteiras no setor. As indústrias de maior porte, com volume de captação de leite acima de 30.000 L diários, possuem melhor controle de custos, realizam com mais frequência a programação da produção utilizando programas computacionais ou planilhas eletrônicas, e dão maior importância para capacidade de equipamentos e disponibilidades de matérias primas e de mão de obra no processo de programação da produção (ALMEIDA JÚNIOR, 2004). Estas ações devem ser adotadas pelos pequenos laticínios para que processem o 'mix' ótimo de produtos lácteos que maximize a receita e minimizem perdas tornando-se mais competitivos no mercado.

### **1.1.2 Matéria-prima da agroindústria leiteira: a importância da qualidade do leite cru para os laticínios**

O leite cru é a principal matéria-prima da agroindústria leiteira. A quantidade de leite cru captada pelo laticínio deve ser suficiente para processamento e atendimento da demanda mínima por seus produtos lácteos e geração de margem de lucro. Tão importante quanto a quantidade de leite cru disponível para a usina leiteira processar em produtos lácteos,

é sua qualidade. A qualidade do leite cru afeta o rendimento industrial, o processamento do leite, a qualidade dos produtos lácteos (aceitabilidade pelo consumidor, prazo de vencimento, características organolépticas e o valor dos produtos lácteos) e a rentabilidade dos produtores e dos laticínios (BLOWEY; EDMONDSON, 2010).

A qualidade do leite cru é influenciada pela nutrição, genética, sanidade do rebanho e higiene na ordenha. Dentre esses fatores, a sanidade do rebanho e a higiene na ordenha são determinantes para a obtenção de leite cru de boa qualidade. O principal problema sanitário dos rebanhos leiteiros é a mastite. A mastite é a inflamação da glândula mamária que pode ser causada por fatores físicos (traumas e ferimentos nos tecidos mamários, por exemplo), químicos (contato de substâncias irritantes com tecidos mamários) e biológicos (infecção de organismos patogênicos nos tecidos mamários). As más condições higiênicas na ordenha, além de facilitarem a contaminação do leite cru, contribuem para a disseminação de microrganismos patogênicos causadores da mastite pelo rebanho (BLOWEY; EDMONDSON, 2010).

A mastite provoca elevação da concentração de substâncias indesejáveis (íons Na e Cl, imunoglobulinas, proteínas séricas, e enzimas plasmina e lipase que degradam a caseína e a gordura, respectivamente) e decréscimo da produção e da concentração de substâncias desejáveis (íons Ca, P, K, lactose, gordura, caseína e sólidos não-gordurosos) do leite cru devido ao processo inflamatório. Em rebanhos com contagem de células somáticas (CCS) no leite cru acima de 200 mil células/mL, para cada aumento de 100 mil células, há redução de 2,5% na produção de leite. Os decréscimos dos teores de caseína e lactose podem chegar a 20%, enquanto que o teor de gordura pode ser reduzido em 12%. A qualidade, o sabor, o tempo de prateleira e o rendimento de fabricação dos produtos lácteos podem ser prejudicados em função dessas alterações no leite cru causadas pela mastite (BLOWEY; EDMONDSON, 2010).

Além do comprometimento da qualidade do leite cru, a mastite pode causar significativas perdas financeiras para o produtor através de descarte de leite, de gastos com medicamentos e serviços veterinários, de redução da produção leiteira causada pela mastite, de altas taxas de descarte e reposição de animais que gera perda de potencial genético, de mortes e de penalização com descontos sobre o valor do leite devido à alta CCS e aos baixos teores de nutrientes no leite cru. Todos os laticínios do Reino Unido possuem sistemas de pagamento do leite em função da qualidade que impõem altas penalizações financeiras sobre os produtores de leite com CCS acima de 200 mil células/mL. O preço do leite pode ser reduzido em mais de 15% por causa da mastite em programas de pagamento do leite por

qualidade. Por outro lado, os produtores são estimulados a diminuir a CCS e a contagem bacteriana total (CBT) no leite dos rebanhos para receberem premiações sobre o preço do leite. Isso beneficia a indústria, que adquire matéria prima adequada para processamento, e o consumidor, que terá disponível produtos lácteos de melhor qualidade com maior tempo de prateleira. Os laticínios não compram leite cru com CCS acima de 400 mil células/mL. (BLOWEY; EDMONDSON, 2010).

A alta CCS no leite cru é prejudicial para a indústria leiteira. Queijo minas frescal produzido a partir de leite cru contendo 437 mil células somáticas/mL apresentou menor teor de proteína total do que o queijo minas frescal proveniente de leite cru contendo 125 mil células somáticas/mL (14,85% e 17,35%, respectivamente). O teor de proteína total no soro dos queijos produzidos a partir de leite cru contendo  $1,053 \times 10^6$  células somáticas/mL foi maior do que no soro dos queijos provenientes de leite cru contendo 125 mil células somáticas/mL (1,07% e 0,81%, respectivamente). A perda de proteína total no soro durante o processo de produção de queijo minas frescal a partir de leite cru com alta CCS se deve a atividade de enzimas proteolíticas das células somáticas (ANDREATA et al., 2009).

No Brasil, a qualidade do leite é regulamentada pela Instrução Normativa 62 que estabelece parâmetros de qualidade para CCS (até 600 mil células/mL), CBT (até 600 mil unidades formadoras de colônia ou ufc/mL), proteína (mínimo de 2,9%), gordura (mínimo de 3,0%), sólidos não gordurosos (mínimo de 8,4%), dentre outras características importantes do leite cru para a indústria. Porém, não há punição definida para quem não cumpre essas exigências normativas (BRASIL, 2011).

Para saber se a qualidade do leite cru tem melhorado nos últimos anos no Brasil, foram analisados resultados de CBT e CCS de amostras de quase 10 mil produtores que forneciam leite para indústrias com programa de valorização da qualidade (PVQ com cerca de 4800 produtores) e sem programa de valorização da qualidade (SPVQ com cerca de 5100 produtores) entre 2008 e 2011. Quanto ao CBT, houve melhora lenta nesse período. A porcentagem de produtores SPVQ de leite cru com CBT acima de 600 mil ufc/mL diminuiu de 49% para 33% enquanto que a participação de produtores de leite cru com menos de 100 mil ufc/mL aumentou de 15% para 23%. Produtores submetidos à PVQ também apresentaram melhora significativa na CBT do leite cru. Houve diminuição de 17% para 8% de produtores de leite cru com CBT acima de 600 mil ufc/mL e aumento de 53% para 65% de produtores de leite cru com menos de 100 mil ufc/mL. No entanto, não houve diminuição na CCS do leite cru, tanto de produtores SPVQ (aumento de 21% para 26% de produtores com CCS acima de

600 mil ufc/mL), quanto daqueles com PVQ (aumento de 20% para 25% de produtores com CCS acima de 600 mil ufc/mL) (CASSOLI, 2012).

Em estudo realizado em quatro cooperativas da região Sul do Brasil, verificou-se que, após a implantação do programa de remuneração pela qualidade do leite, não houve elevação dos teores dos componentes sólidos nutritivos do leite cru. É possível que os teores de gordura e proteína do leite dos tanques dos produtores das cooperativas não se elevaram devido a outros fatores, como nutrição e genética, mas pode também ser reflexo de incentivo inadequado para melhoria dessas características no programa de pagamento do leite adotado (BOTARO; GAMEIRO; SANTOS, 2013).

Esses resultados evidenciam que esses programas não estão sendo eficazes no incentivo à melhoria da qualidade do leite cru.

### **1.1.3 O problema do planejamento da produção do ‘mix’ de produtos lácteos nos laticínios**

Uma das grandes dificuldades dos laticínios, principalmente dos pequenos e médios, é a realização da programação da produção do ‘mix’ ótimo de derivados lácteos que maximize a MCT da planta processadora de leite em determinado período. Além disso, há outros problemas mais específicos enfrentados diariamente pelos fabricantes de queijos, por exemplo, sobre como padronizar o leite dentre várias opções: remoção de creme, adição de leite desnatado, leite condensado desnatado, leite em pó desnatado, creme, etc. (KERRIGAN; NORBACK, 1986).

Essas dificuldades se devem a diversos fatores, como a sazonalidade da produção de leite, a inconstância da qualidade do leite, a falta de informação, a baixa capacitação dos responsáveis pela programação da produção do laticínio, falhas no planejamento da produção, o desconhecimento de ferramentas de apoio à decisão, a ausência ou adoção de práticas rudimentares de controle contábil, o desconhecimento das dimensões da fábrica, das capacidades de seus equipamentos, das disponibilidades de recursos materiais e humanos e dos rendimentos dos produtos lácteos (ALMEIDA JÚNIOR, 2004).

A maioria dos pequenos laticínios não possuem condições financeiras para investir em equipamentos para processar produtos lácteos de maior valor agregado. Dessa maneira, para manterem-se no mercado, devem otimizar a utilização do parque industrial existente. Essa otimização do aproveitamento da planta processadora de lácteos depende muito, dentre outros fatores, do processo produtivo e mercadológico, do gerenciamento da

matéria-prima leite cru, considerada uma restrição, pois sua oferta é irregular ao longo do ano devido à sazonalidade de sua produção, provocada por fenômenos climáticos. Quando houver excesso de leite cru, deve-se priorizar a fabricação e comercialização de produtos com maior margem de contribuição unitária ou transformá-lo em leite em pó para futura industrialização, caso haja esta possibilidade. Por outro lado, quando houver escassez de leite cru, deve-se priorizar a fabricação e comercialização de produtos com maior margem de contribuição unitária por fator limitante da capacidade (MIRANDA; MARTINS; DE FARIA, 2007). Portanto, os aspectos relativos à capacidade operacional das linhas de equipamentos e dos recursos humanos da planta industrial, assim como o conhecimento dos custos e margens unitárias dos produtos, são fatores essenciais para o planejamento industrial e tomada de decisões sobre a programação da produção (ALMEIDA JÚNIOR, 2005).

A tarefa de definir o 'mix' mais lucrativo torna-se muito difícil sem o auxílio de ferramentas matemáticas e computacionais de apoio à decisão no momento de planejar a produção de lácteos, pois essa tarefa exige cálculos que envolvem muitos coeficientes técnicos (necessidades de tempo e quantidades de recursos materiais e humanos por unidade de produto lácteo) como horas-homem, horas-máquina (pasteurizadora, desnatadeira, embaladora, etc.), L de leite por unidade de produto lácteo, etc. Um modelo capaz de informar decisões estratégicas e estratégias de precificação do leite seria útil na determinação do 'mix' ótimo de produtos lácteos e do perfil de suprimento de leite (GEARY et al., 2010).

No entanto, há programas computacionais baseados em programação linear (PL) que resolvem de forma simplificada esses problemas de definição de 'mix' ideal para maximização da margem de contribuição respeitando restrições operacionais e mercadológicas. No caso de indústrias de produtos lácteos, cujos processos produtivos podem originar produtos intermediários, como o creme e o soro do leite, que são matérias-primas de outros produtos, a aplicação de PL é eficiente para resolver problemas de otimização de processos e definição do 'mix' de produção com ampla variedade de produtos (ALMEIDA JÚNIOR, 2005). O processo de fabricação de queijo com leite padronizado pode ser modelado pela PL através da ordenação e busca da melhor opção de padronização do leite dentre todas as possíveis disponíveis (KERRIGAN; NORBACK, 1986).

A PL é uma técnica matemática de resolução de sistemas de equações e/ou inequações lineares via inversões sucessivas de matrizes, ou seja, é um modelo matemático de solução de problemas que envolvem variáveis mensuráveis passíveis de serem expressas por equações e/ou inequações usado para alocação de recursos efetivamente (CAIXETA-FILHO, 2010; MOREIRA, 2010).

O problema de programação linear (PPL) consiste-se da função objetivo que se pretende otimizar (maximizar lucros ou minimizar custos, por exemplo) e de restrições de recursos. A função objetivo é a combinação de variáveis de decisão expressa matematicamente. As restrições representam limitações de recursos expressas por equações e/ou inequações envolvendo variáveis de decisão e coeficientes técnicos (CAIXETA-FILHO, 2010; MOREIRA, 2010). A função objetivo do modelo geral de PL pode ser representada da seguinte maneira:

$$z = cx \quad (1)$$

sujeito a um conjunto de restrições:

$$Ax \leq b \quad (2)$$

em que 'z' é o valor a ser otimizado da função objetivo (maximizar lucro ou minimizar custo, por exemplo), 'c' é o vetor das margens de lucro ou dos custos dos recursos associados a uma unidade de cada atividade, 'x' é o vetor de atividades (variáveis de decisão) cujos níveis dos componentes na alocação ótima de recursos serão determinados, 'A' é a matriz de coeficientes técnicos que relaciona uso de recursos às suas restrições, e 'b' é o vetor dos valores das restrições que determinam os limites sobre as quantidades de recursos dentro e fora do sistema (CRAIG; NORBACK; JOHNSON, 1989).

A solução do PPL é a combinação das quantidades das variáveis de decisão que otimiza a função objetivo respeitando as restrições do modelo (CAIXETA-FILHO, 2010; MOREIRA, 2010). Além da determinação dos valores ótimos das variáveis de decisão que otimizam a função objetivo, há a análise de sensibilidade, outro conjunto de resultados que permite examinar a sensibilidade da solução ótima às mudanças de vários coeficientes, ou seja, o impacto das alterações nas restrições e nos recursos sobre a lucratividade e os custos associados aos recursos limitantes (KERRIGAN; NORBACK, 1986). A análise de sensibilidade nos permite saber quão sensível é a solução ótima às mudanças no ambiente econômico, como alteração nos custos dos recursos. Um conceito importante da análise de sensibilidade é o custo reduzido, também conhecido como preço-sombra ou custo de oportunidade. O custo reduzido da variável de decisão é a mudança provocada no valor da função objetivo em função do aumento unitário no valor da variável de decisão. Toda variável de decisão que faz parte da solução ótima possui custo reduzido nulo. Ele indica o valor a ser diminuído no custo, no caso do recurso, ou a ser aumentado no preço, no caso da variável de

decisão, que deve ser alterado para que o recurso ou a variável faça parte da solução ótima substituindo outro componente (CRAIG; NORBACK; JOHNSON, 1989). O preço-sombra pode ser interpretado como o custo de oportunidade de se ter uma unidade a mais de recurso para se processar. Em outras palavras, o preço-sombra representa o lucro que se teria se fosse processada uma unidade a mais do recurso limitante atuante. Portanto, pode-se entender que o preço-sombra do recurso limitante atuante é o preço-máximo que se pode pagar por tal recurso sem que haja prejuízo.

Problemas de PL com apenas duas variáveis de decisão podem ser resolvidos por método gráfico, enquanto que o método simplex pode resolver PPL com qualquer número de variáveis. O simplex é uma metodologia que envolve uma sequência de cálculos repetitivos e iterativos chamados de algoritmo. Programas computacionais baseados em PL utilizam o método simplex para solução de PPL (CAIXETA-FILHO, 2010; MOREIRA, 2010). Dentre eles, os mais conhecidos são o LINDO, o GAMS (General Algebraic Modeling System) e o suplemento Solver do Microsoft Office Excel. Os dois primeiros são específicos para solução de PPL, enquanto que o Solver do Excel possui limitações, embora seja muito útil e suficiente para resolução de pequenos problemas.

Alguns trabalhos utilizando PL em laticínios já foram realizados comparando os resultados do 'mix' real da indústria com os do 'mix' ótimo da solução do PPL. Foi realizado estudo de caso em planta industrial laticinista da região do triângulo mineiro com mais de três décadas de mercado. No final da década de 1990, este laticínio, com captação média mensal de 2,1 milhões de L de leite, passava por dificuldades financeiras obtendo quedas de faturamento e resultados negativos sucessivos. A situação só foi revertida a partir de 2001, após grande mudança e reestruturação gerencial. Profissionais de baixa qualificação técnica foram substituídos por outros mais bem capacitados profissionalizando o setor administrativo da empresa. Controle mais rígido de custos e despesas foi implantado em diversos setores reduzindo desperdícios. Sistemas internos e integrados de informações gerenciais e orçamentárias foram desenvolvidos, assim como a implantação do departamento de marketing com informações mercadológicas, para auxílio na tomada de decisões. Essas inovações permitiram o sucesso financeiro da indústria que, a partir de então, buscou elevar mais seu faturamento priorizando a fabricação e venda de produtos com maior valor agregado. Em primeira análise, foram priorizadas as produções de queijo mussarela, ricota e leite Longa Vida Desnatado, com maiores margens unitárias de contribuição (\$1,68; \$0,89 e \$0,27; respectivamente) do que o leite Longa Vida Integral (\$0,19). Dessa forma, o leite Longa Vida Integral foi o único produto que não conseguiu atender à demanda do mercado. A

MCT neste cenário foi de \$428.445,60. No entanto, quando foram calculadas as margens de contribuição unitárias por fator limitante, ou seja, por matéria-prima (leite) necessária para a fabricação de uma unidade de derivado lácteo, observou-se que o queijo mussarela apresentou a menor margem de contribuição ( $\$1,68/10,2 \text{ L de leite} = \$0,17/\text{L}$ ) em relação à ricota ( $\$1,11/\text{L}$ ) e aos leites Longa Vida Desnatado ( $\$0,27/\text{L}$ ) e Integral ( $\$0,19/\text{L}$ ). Resolvendo esse cenário no suplemento Solver do programa computacional Microsoft Excel, obteve-se aumento de 0,5% na MCT do laticínio, com apenas o queijo mussarela não respeitando a demanda de mercado devido à prioridade dada aos produtos de maior margem de contribuição por fator limitante. Outro problema dessa indústria era o destino do soro de leite excedente: vender ou destiná-lo à produção de ricota? A análise de sensibilidade, um conjunto de resultados do programa utilizado, foi utilizada para resolver esta dúvida, indicando que seria mais lucrativo (aumento de 0,18% na MCT) elevar a produção de ricota (MIRANDA; MARTINS; DE FARIA, 2007).

Em outro pequeno laticínio mineiro, com captação média diária de 10 mil L de leite, também foi realizado estudo comparando os resultados financeiros dos ‘mixes’ de produção real com o ótimo gerado por protótipo de programa computacional baseado em planilha eletrônica e PL. Informações contábeis e coeficientes técnicos dos processos produtivos foram colhidos e calculados junto à gerência da empresa. A função objetivo do modelo de PPL foi maximizar margem de contribuição sujeita às restrições produtivas (captação de leite cru, geração e consumo de creme e soro do leite), operacionais (disponibilidade de recursos humanos e capacidades dos equipamentos e câmaras frias) e mercadológicas (vendas mínimas e máximas, custos e margens unitárias de contribuição). Dos 33 itens da linha de produtos da indústria, apenas três apresentaram quantidades idênticas nas situações real e ótima e outros três apresentaram pequenas diferenças percentuais. Em contrapartida, a maioria dos produtos tiveram grandes diferenças entre as quantidades realmente produzidas pelo laticínio e as calculadas pelo protótipo, chegando a valores superiores a 100%. A análise revelou ociosidade de recursos na planta processadora de laticínios em condições ótimas. Menos de 30% do tempo dos equipamentos, menos de 20% do tempo de mão-de-obra e apenas 50% do espaço da câmara fria disponíveis eram utilizados. A adequação dos níveis de produção do ‘mix’ real aos níveis ótimos gerados pelo protótipo e a redução de custos com recursos ociosos elevariam em 12% os lucros da empresa. A partir dessas informações, alguns cenários hipotéticos foram avaliados chegando-se à conclusão de que o maior aumento de lucro (13%) seria atingido se o laticínio aumentasse em 10% a



captação de leite cru e reduzisse em 10% os custos com mão-de-obra (ALMEIDA JÚNIOR, 2005).

Foi demonstrado também ser possível solucionar o problema de padronização do leite para produção de queijo *Mozzarella* com 37% de gordura na matéria seca por PL maximizando a margem de contribuição do produto. As variáveis de decisão eram os recursos disponíveis para a padronização do leite (leite, leite em pó desnatado, leite desnatado, leite condensado desnatado e remoção do creme do leite). Conheciam-se suas quantidades disponíveis, suas composições percentuais de gordura e de caseína e seus custos. Além do queijo, o creme de leite gordo e o creme de soro gordo, coprodutos da produção do queijo, também eram comercializados. Foram calculadas as margens de contribuição de cada produto e as restrições para fabricação do queijo com características desejadas. A solução do PPL indicou a utilização apenas de leite e de leite condensado desnatado na padronização do leite para fabricação do queijo maximizando o lucro bruto. Adicionalmente, pela análise de sensibilidade, foi possível saber os custos reduzidos dos recursos não limitantes (que não participam da formulação ótima). Custo reduzido é o valor a ser subtraído do custo do recurso para que este seja incluído na formulação ótima substituindo outro recurso. É um pré-requisito para que o recurso participe da formulação ideal. Os recursos que já fazem parte da formulação ideal possuem custo reduzido nulo. Conclui-se que a PL pode ser uma ferramenta de gestão efetiva na alocação de recursos leiteiros para processamento de produtos lácteos (KERRIGAN; NORBACK, 1986).

Antes de se implantar qualquer tipo semelhante de sistema de apoio à decisão, é necessário que o laticínio, assim como qualquer empresa de outro ramo, faça controle rígido dos custos de produção. Adicionalmente, os usuários do sistema devem ter conhecimento do processo e noções básicas de economia e administração para aproveitar bem os benefícios da ferramenta em prol da empresa. Apesar de as ferramentas computacionais e estatísticas serem cada vez mais necessárias e auxiliarem muito na geração de informação, nenhuma delas substitui a análise do tomador de decisões. Os modelos são guias para auxiliar na tomada de decisão. Suas pressuposições e soluções devem ser regularmente testadas assim que condições econômicas e de processamento se alterem. O julgamento do responsável pelo laticínio é necessário para avaliar a viabilidade da solução proposta pelo modelo (KERRIGAN; NORBACK, 1986; CRAIG; NORBACK; JOHNSON, 1989). Por isso é fundamental a capacitação profissional.

#### 1.1.4 Sistemas de pagamento do leite cru praticados no mundo

Nos países desenvolvidos, onde a renda per capita e o consumo de produtos lácteos são os maiores, observa-se elevada concentração e especialização da atividade leiteira assim como alto nível de protecionismo. Os principais países produtores e exportadores de lácteos têm regulamentado o setor leiteiro controlando preços mínimos de produtos de consumo elevado, tarifando produtos importados e subsidiando exportações (LACAZE, 2008).

Na década de 1930, o Congresso dos Estados Unidos da América (EUA) estabeleceu preços mínimos a serem pagos aos produtores de leite por indústrias de 10 regiões do país através de regulamentação comercial. Em 1949, o Congresso norte-americano instituiu o programa de apoio aos preços do leite garantindo às indústrias a compra de qualquer quantidade de queijo, manteiga e leite em pó a um preço mínimo estabelecido pelo governo (EDWARDS, 2007).

Adicionalmente, em 2002, através do 2002 Farm Bill, foi implantado o Programa de Contratos de Perda de Renda de Leite (MILK INCOME LOSS CONTRACT – MILC) (EDWARDS, 2007). É um programa de apoio à receita dos pecuaristas leiteiros administrado pela Agência de Serviços Agropecuários (FARM SERVICE AGENCY’S – FSA) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (UNITES STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA). Neste programa, o governo compensa financeiramente o produtor toda vez que os preços domésticos do leite ficam abaixo do preço de referência do leite de Classe I da região de Boston. Este preço de referência é calculado a partir do custo médio da ração contendo 16% de proteína para bovinos leiteiros. A FSA paga ao produtor até 45% da diferença entre o preço de referência e o preço de mercado do leite (USDA, 2011). O Programa de Leis Agropecuárias de 2008 (2008 Farm Bill) estendeu de 2007 até 31 de agosto de 2012 o programa MILC (USDA, 2008).

O programa MILC, autorizado no 2002 Farm Bill, atendia apenas os empreendimentos leiteiros com produção anual inferior a 1.090,09 toneladas (2,4 milhões de libras), correspondendo a rebanhos de 120 a 130 vacas leiteiras, aproximadamente. Grupos de grandes produtores de leite acusaram o programa MILC de provocar excesso de produção leiteira forçando a queda do preço do leite no mercado e prejudicando quem produzia acima do limite de produção anual. Então, o limite anual de produção de leite do programa MILC foi alterado no 2008 Farm Bill para 1.356,82 toneladas (2,985 milhões de libras), correspondendo grosseiramente a rebanhos de 145 vacas (USDA, 2008; CHANG; MISHRA, 2011).

Estudo sobre o efeito do programa MILC sobre a eficiência técnica de pequenos (abaixo de 100 vacas), médios (de 100 a 299 vacas) e grandes (acima de 299 vacas) fazendas leiteiras indica que o programa pode ter beneficiado indiretamente os grandes produtores de leite lhes ajudando a aumentar a produção ou o rebanho e sendo contraproducente aos pequenos e médios pecuaristas leiteiros (CHANG; MISHRA, 2011).

Outra medida do governo para assegurar altos preços é a imposição de barreiras contra importação de produtos lácteos mais baratos. Importações de queijo, manteiga e leite em pó são limitadas a 5,0% do consumo norte-americano. Esse sistema regulatório também impede que produtos lácteos de regiões de baixo custo de produção, como o Meio-Oeste, disputem mercado com produtos de regiões de alto custo, como o Sudeste. Atualmente, cerca de dois terços do leite norte-americano são produzidos sob normas federais de comércio, e quase um terço é produzido sob esquemas estatais semelhantes, como na Califórnia (EDWARDS, 2007).

Esses programas de apoio à receita do produtor e aos preços no setor lácteo estimulam o aumento da produção e super oferta de leite que provocam tendência de decréscimo nos preços do leite. Este é o efeito contrário ao desejado por esses programas governamentais de apoio aos preços do leite. Além disso, mercados regulamentados limitam a competição, pois impedem que empresários forneçam leite a preços abaixo dos definidos pelo governo (EDWARDS, 2007).

Todas essas medidas legais contribuem para a elevação dos preços dos produtos lácteos ao consumidor, enquanto outros programas governamentais visam redução dos preços dos alimentos. Segundo a Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento, as políticas norte-americanas criaram 26,0% de “taxas implícitas” para consumidores de lácteos prejudicando famílias de menor receita. A Delegacia da Receita Federal norte-americana (GAO) observou que os preços norte-americanos da manteiga, do queijo e do leite em pó eram 100,0%, 50,0% e 24,0% maiores, respectivamente, que os preços mundiais entre 1998 e 2004 (EDWARDS, 2007).

Assim como no EUA, o setor leiteiro do agronegócio canadense sofre forte intervenção do governo através de adequação da oferta à demanda (planejamento de produção), de mecanismos de preços e de previsão de importações para proteger a produção e o mercado internos (PAINTER, 2007).

O Comitê Canadense da Gestão da Oferta do Leite (CMSMC), composto pela Comissão Agroindustrial Leiteira Canadense, pelos Conselhos de Gestão da Oferta e pelos representantes governamentais das dez províncias canadenses, estabeleceu o Plano Nacional

do Comércio do Leite (NMMP). Este plano define quotas de produção e de comércio de leite para cada província canadense e impõe restrições de importação aos produtos lácteos estrangeiros. Essas quotas são definidas em função da participação histórica do mercado e do crescimento populacional. O Conselho do Comércio de Leite de cada província distribui essas quotas para seus produtores que são proibidos de comercializá-las além dos limites de sua província. No entanto, há um problema de concentração de quotas, sendo que a província de Quebec possui 47,3% das quotas de participação de mercado, mas apenas 25% da população canadense. Para evitar o comércio informal de leite, desde 1980, os Conselhos Comerciais das províncias compram as quotas dos produtores e as comercializam ganhando comissões sobre o valor das vendas. As quotas são bem valorizadas e as comissões chegam a 7% em Quebec e a 10% em Ontario, tornando a atividade leiteira lucrativa (PAINTER, 2007).

Quanto ao sistema de preços do leite, observa-se que a Comissão Agroindustrial Leiteira Canadense (CDC) define anualmente preços a serem pagos aos produtores em função dos custos de produção do leite, mão-de-obra, investimentos e indicadores de mercado para que os produtores cubram seus custos sem a necessidade de demais subsídios. Os preços pagos aos produtores canadenses são 135% maiores que os preços de referência mundial. O forte controle sobre a oferta de leite permite que o CDC estabeleça preços de monopólio assegurando máximo lucro aos produtores e aos conselhos de todas as províncias (PAINTER, 2007).

Para assegurar os altos preços, além de controlar a oferta de leite, o Sistema de Gestão da Oferta controla as importações de produtos lácteos proibindo e limitando importações ou aplicando altas tarifas de importação tornando os produtos importados muito caros e impedindo que a competição externa diminua os preços. Os excessivos lucros e patrimônios líquidos dos produtores de leite canadenses têm atraído a atenção dos consumidores que gostariam de acabar com esse sistema de gestão de oferta (PAINTER, 2007). A Tabela 1 ilustra tarifas cobradas sobre alguns produtos lácteos.

Tabela 1 - Tarifas canadenses sobre produtos lácteos importados

Produto	Leite	Cheddar	Manteiga	Iogurte	Sorvete	Leite em pó desnatado
Tarifa (%)	241	246	298	238	277	202

Fonte: adaptado de Lippert (2001) apud (PAINTER, 2007)

Até a década de 1990, havia forte intervenção do governo argentino no setor leiteiro para proteger o mercado interno durante a fase de industrialização de substitutos de produtos importados, para controlar o preço ao consumidor de itens essenciais durante

períodos de alta inflação e para fixar intermitentemente preços de leite. A Lei 6640/63, em vigor até 1991, regulamentou condições sanitárias na fazenda, no curral (brucelose e tuberculose) e na sala de ordenha, além de fixar o preço do leite cru e proporcionar bônus sobre o preço normal do leite para modernização da fazenda, contagem bacteriana, baixo nível de impurezas, temperatura do leite, distância de entrega, volume e produção elevada durante o inverno (FARINA et al., 2005).

A maioria dos países desenvolvidos paga pelo leite através de sistemas de apreçamento baseados nos múltiplos componentes do leite. Na Irlanda, há pelo menos dez tipos de esquemas de remuneração aos produtores de leite, apresentando vantagens e limitações em diferentes aspectos. Há sistema de pagamento baseado apenas no volume (1); pagamento por volume com bonificação para cada 0,1% de gordura adicional (2); pagamento pelos teores de gordura e proteína em que 60% da remuneração é destinada à gordura (3); pagamento baseado nos teores de gordura e sólidos não gordurosos (4); pagamento a partir de valor constante para matéria seca do leite em que 85% da remuneração é destinada à proteína (5); pagamento a partir de valor constante para matéria seca do leite em que 70% da remuneração é destinada à proteína (6); pagamento baseado nos teores de gordura (63% do valor do leite) e proteína (55% do valor do leite) calculados a partir dos retornos líquidos para gordura e leite em pó desnatado com constante negativa (-18% do valor do leite) para cada unidade de volume adicional de leite referente aos custos de coleta e processamento da água (7); sistema de preço geral básico para gordura e proteína do leite com reduções diferenciais determinadas por pressões políticas, em que 30% do valor do leite é constante (8); pagamento pelos teores de gordura e proteína em que cada componente corresponde a 50% do valor pago pela indústria ao produtor (9) e o esquema de pagamento ao produtor em função dos teores de gordura e proteína, em que cada componente corresponde a 50% do valor do leite, com constante negativa para unidade de volume adicional (10). Os sistemas de pagamento do leite na Irlanda, além de supervalorizarem a água do leite fornecido à indústria devido ao preço ser determinado em grande parte pelo volume, não atribuem valor à lactose, ingrediente do leite em pó, produto lácteo de grande importância neste país (BREEN, 2001).

Na Dinamarca, os valores para gordura e proteína baseiam-se nos preços da manteiga e do leite em pó desnatado, respectivamente, descontados os custos variáveis de produção, custos fixos de tratamento e coleta do leite, diferença da sazonalidade dos preços, premiações e outras deduções (BREEN, 2001).

A Holanda desenvolveu um sistema de pagamento do leite que inclui premiações por qualidade, quantidade, sazonalidade, pagamentos adicionais no final do ano,

descontos relativos aos custos de processamento do leite e uma constante negativa relativa aos custos administrativos e de transporte do leite (BREEN, 2001).

O sistema neozelandês de preços pago ao produtor pelo leite fornecido consiste na multiplicação de quantidades de gordura e proteína, em quilogramas (kg), pelo preço de cada componente, em centavos/kg, sendo que a proteína é mais valorizada que a gordura, incluindo também pagamentos adicionais referentes ao desempenho das cooperativas (BREEN, 2001). As cooperativas e as indústrias processadoras de lácteos podem combinar um preço para o leite cru a ser fornecido em cada temporada. No entanto, a indústria pode pagar o preço padrão do leite cru para a cooperativa desde que a quantidade de leite fornecida não exceda 10% da quantidade exigida. O preço padrão do leite cru consiste no preço praticado no atacado que varia em função do tipo de leite cru (orgânico ou convencional), do custo de transporte do leite cru até a indústria e da sazonalidade do leite cru (inverno ou verão), ou seja, é a soma do preço de atacado praticado na temporada com os custos de transporte do leite cru da cooperativa até a indústria, de aquisição e suprimento do leite orgânico e do leite cru de inverno. O preço de atacado do leite cru praticado em cada estação consiste no preço do leite pago ao produtor adicionado \$0,10 por quilograma de sólidos do leite. No final de cada temporada, as cooperativas devem publicar informações referentes aos custos totais do leite cru convencional, orgânico e de inverno em cada ilha do país, aos preços pagos aos produtores, à quantidade de sólidos do leite fornecida em quilogramas e à quantidade total de leite cru comprado para suprir as indústrias lácteas, além das previsões dessas informações para a próxima safra (NEW ZEALAND, 2001).

Em alguns países, outros constituintes do leite são considerados nos modelos de pagamento do leite, além da proteína e da gordura. A África do Sul e o Canadá atribuem valor à lactose, a Austrália e o Zimbábue pagam pelos sólidos totais do leite, enquanto a Espanha e o Japão remuneram os produtores pelos sólidos desengordurados (BREEN, 2001).

Até 1998, o pagamento do leite na Suíça era baseado somente no volume do leite fornecido. No entanto, as médias dos teores de gordura e proteínas do leite eram de 4,0 e 3,5%, respectivamente. Mesmo assim, há pouco tempo foi introduzido neste país sistema de remuneração pelos componentes do leite (BREEN, 2001).

### **1.1.5 Sistemas de pagamento do leite cru praticados no Brasil**

As empresas têm sistemas próprios de bonificações e descontos, sendo seu preço final resultado de uma política leiteira. As empresas de médio e grande porte adotam a estratégia de que não pode faltar leite nas indústrias, o que faz que as empresas disputem entre si produtores com maiores volumes e qualidade. Cada indústria tem a liberdade de pagar o que achar necessário. Por exemplo, um determinado produtor pode receber mais para viabilizar a linha em que se encontra: é ele que torna viável a coleta do leite dos pequenos produtores que estão nessa rota de leite, sendo que, no final, a indústria tem um preço médio adequado a seus custos pelo qual o produto é adquirido. Acerca de 34% das cooperativas amostradas no Brasil pagam por volume e acerca de 55% das cooperativas utilizam o critério volume e qualidade na remuneração dos produtores (SBRISIA; BARROS, 2008). A Figura 1 e a Tabela 2 ilustram essa distribuição.

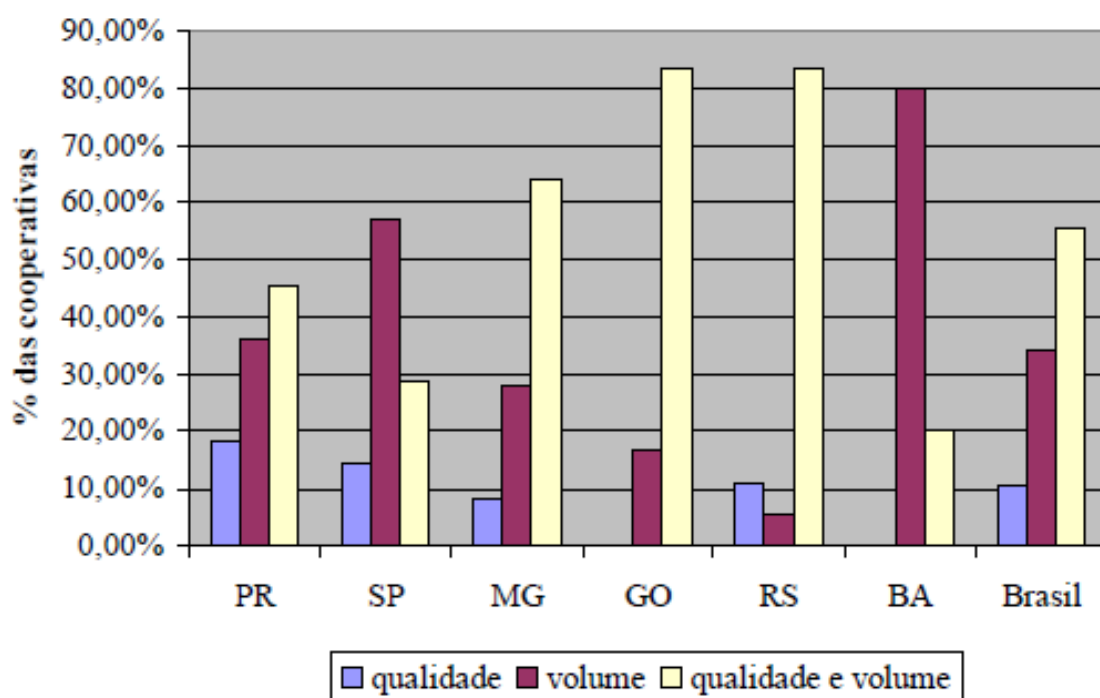


Figura 1 - Representação percentual do pagamento por qualidade, por volume e por qualidade e volume em alguns estados brasileiros

Fonte: Sbrissia e Barros (2008)

Tabela 2 - Formas de pagamento aos produtores de leite (%) em diferentes estados do Brasil

	Estados brasileiros						Brasil
	PR	SP	MG	GO	RS	BA	
Qualidade	18,18	14,29	8,00	0,00	11,11	0,00	10,59
Volume	36,36	57,14	28,00	16,67	5,56	80,00	34,12
Qualidade e Volume	45,45	28,57	64,00	83,33	83,33	20,00	55,29

Fonte: adaptado de Sbrissia e Barros (2008)

Segundo o presidente de uma associação de pecuaristas leiteiros da região de Juiz de Fora, Minas Gerais, a relação entre indústria laticinista e produtor de leite é caracterizada pela ausência de negociação, em que a indústria geralmente remunera o produtor no 20º dia do mês informando o preço e a quantidade de leite recolhida no mês anterior (BICALHO; MACHADO; PAÇO-CUNHA, 2008). Na tentativa de formalizar a comercialização do leite entre produtores e laticínios, em 19 de junho de 2012, entrou em vigor a lei nº 12.669 que obriga os laticínios a informarem o preço do L do leite cru aos fornecedores até o dia 25 do mês anterior à compra do leite (BRASIL, 2012). Com o mesmo intuito, alguns programas governamentais, como o Pró-Leite da Prefeitura de Juiz de Fora, MG, incentivam o associativismo dos produtores de leite e a instituição de contratos formais com preços e volumes de leite a serem pagos e fornecidos explícitos, respectivamente, garantindo maior controle financeiro dos produtores e fidelidade destes com as indústrias. A Secretaria de Agropecuária e Abastecimento da Prefeitura de Juiz de Fora desenvolveu um mecanismo de remuneração ao produtor de leite baseado no preço médio mensal de varejo do leite. As usinas beneficiadoras de leite e as associações de produtores definem os preços do leite cru em contratos como uma porcentagem, que oscila entre 45 e 54%, do preço médio mensal de varejo do leite (BICALHO; MACHADO; PAÇO-CUNHA, 2008).

A troca de informações técnicas e comerciais, por proporcionar um ambiente de confiança, contribui mais para a colaboração e cooperativismo entre laticínios e produtores de leite do que trocas sociais, posição geográfica e importância do produto. Por isso, o uso de tecnologias da informação, de processamento e de armazenagem é essencial para o relacionamento colaborativo, pois permitem administrar e rastrear o leite da ordenha ao consumidor, além de evitar a contaminação para obtenção de leite de acordo com as qualidades especificadas (MOORI, LIMA e MENEZES, 2011).

As cooperativas Castrolanda e Batavo da região de Castro, no estado do Paraná, foram pioneiras na utilização de padrões de qualidade na remuneração do leite ao produtor e adotam, desde junho de 2000, um sistema de pagamento no qual o preço final está baseado em um programa de qualidade que considera teor de gordura, teor de proteína, contagem bacteriana, temperatura do leite no momento da coleta, crioscopia (presença de água no leite), presença de antibiótico e contagem de células somáticas, sendo este último o indicador de maior impacto no preço final. O sistema de pagamento parte de um preço-base sobre o qual incidem premiações e/ou descontos por qualidade, mais uma bonificação pelo volume entregue. As análises são realizadas com todos os produtores, duas vezes por mês, por meio de amostras coletadas nos tanques. O estímulo à melhoria da qualidade valoriza o



produto, traz ganhos de produtividade e redução de desperdício na produção, na indústria e no varejo (SBRISSIA; BARROS, 2008).

O Sindicato da Indústria de Laticínios e Produtos Derivados do Paraná (Sindileite) e a Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP) fundaram em 2002 o Conselho Paritário Produtores/Indústrias de Leite do Estado do Paraná (Conseleite – PR) que conta com colaboração do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural do Paraná (SENAR – PR), do Departamento de Economia e Extensão Rural da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e da Comissão Técnica de Bovinocultura de Leite da FAEP. Esta entidade consiste-se em uma associação civil de produtores rurais de leite e indústrias processadoras de lácteos, sem fins lucrativos, regida por estatuto e regulamentos próprios que tem como objetivos zelar pelo bom relacionamento entre os integrantes do sistema agroindustrial lácteo paranaense, promover aprimoramento do sistema de avaliação da qualidade do leite e produtos lácteos, desenvolver e divulgar análises técnicas e econômicas acerca da estrutura e evolução do mercado do sistema agroindustrial lácteo, contribuir com estudos e pesquisas para o desenvolvimento de uma política de marketing e fomento à produção de leite e derivados lácteos e promover a conciliação de conflitos surgidos entre os integrantes do sistema agroindustrial lácteo (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003).

O Conseleite – PR criou o preço de referência do leite que visa estabelecer uma remuneração justa para a matéria-prima dos produtos lácteos e maior transparência entre produtores rurais e indústrias. O preço de referência é divulgado mensalmente para servir de base para livre negociação comercial entre produtores e indústrias processadoras de leite, embora a adesão da indústria a este sistema seja facultativa (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003).

O preço de referência do leite consiste em um valor médio calculado pela UFPR, conforme metodologia definida e aprovada pelo Conseleite – PR, a partir do ‘mix’ de comercialização dos derivados lácteos, do rendimento industrial do leite na fabricação dos derivados, da participação do custo da matéria-prima no custo total de produção dos derivados e dos preços médios de comercialização dos produtos (leite fluido pasteurizado, leite fluido UHT, leite fluido cru resfriado, leite em pó, bebida láctea, iogurte, creme de leite, doce de leite, requeijão, manteiga, queijos prato, mussarela, parmesão e provolone) praticados pelas indústrias participantes do conselho (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003).

Os preços médios dos produtos são calculados por média aritmética ponderada das vendas realizadas pelas empresas participantes do Conseleite – PR, utilizando o volume referente a cada preço como fator de ponderação (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003).

As participações do custo da matéria-prima no custo total de produção de cada produto foram definidas pela relação entre custo de produção do leite e custo total de cada derivado lácteo (soma dos custos de produção de leite, de fabricação e de comercialização). Obteve-se o custo de produção de leite pelo cálculo do custo médio ponderado de produção de leite de 27 mil produtores de quatro sistemas típicos de produção do Estado do Paraná utilizando a participação de cada um dos quatro sistemas no volume de leite recebido pelas empresas participantes do Conseleite – PR. Os custos médios ponderados de fabricação e de comercialização dos produtos lácteos foram calculados usando o volume dos produtos produzidos como fator de ponderação (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003).

Os rendimentos industriais do leite na fabricação de cada derivado lácteo foram calculados aplicando características do “leite padrão” (3,21 a 3,30% de gordura, 3,01 a 3,05% de proteína, 8,61 a 8,70% de sólidos não gordurosos, CCS < 600 mil células/mL, 151 a 180 minutos no teste de redutase e volume de entrega de até 100 L diários com temperatura máxima de 7 °C) em fórmulas teóricas pesquisadas juntos às indústrias (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003).

O preço de referência é aplicado apenas no leite que apresentar temperatura menor que 530 °H no teste de crioscopia, estabilidade a 76% no teste do alizarol, ausência de resíduos de antimicrobianos e redutores de acidez e exames de brucelose e tuberculose realizados anualmente. O leite que apresentar características dentro dos parâmetros estabelecidos para o leite padrão recebe pontuação nula sem ágio ou deságio sobre o preço de referência. O leite com uma ou mais características fora dos parâmetros do leite padrão recebe uma pontuação, podendo sofrer ágio ou deságio sobre o preço de referência. O leite com características piores que os parâmetros do leite padrão pode ter até 1000 pontos negativos sofrendo deságio de até 10% sobre o preço de referência, enquanto que o leite com características melhores que as do leite padrão pode acumular até 1500 pontos recebendo ágio de até 15% sobre o preço de referência (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003).

Apesar de ser um sistema que proponha maior transparência e equilíbrio na negociação entre produtores e indústrias, ainda apresenta desvantagem por incluir em suas fórmulas matemáticas de cálculo do preço de referência o volume de leite entregue à indústria e o custo médio ponderado de produção da matéria-prima nas fazendas leiteiras. O volume, como citado anteriormente, não incentiva a melhoria da qualidade e o cálculo do custo médio de produção do leite representa um banco de dados a mais a ser atualizado continuamente diminuindo a praticidade do sistema. Por essas razões, é desejável o desenvolvimento de um sistema que determine o valor de cada componente do leite de interesse para a indústria sem

incluir o custo médio ponderado de produção da matéria-prima e o volume entregue, excetuando as indústrias de leite fluido.

### 1.1.6 Fatores que afetam o valor do leite

O preço do leite sofre variações devido a diversos fatores tais como políticas econômicas, sazonalidade da produção leiteira, qualidade do leite, demanda do consumidor, fenômenos sanitários, etc. A seguir serão discutidas algumas das razões do comportamento sazonal dos preços do leite, ilustrado na Figura 2, que afetam o planejamento de empreendimentos leiteiros.

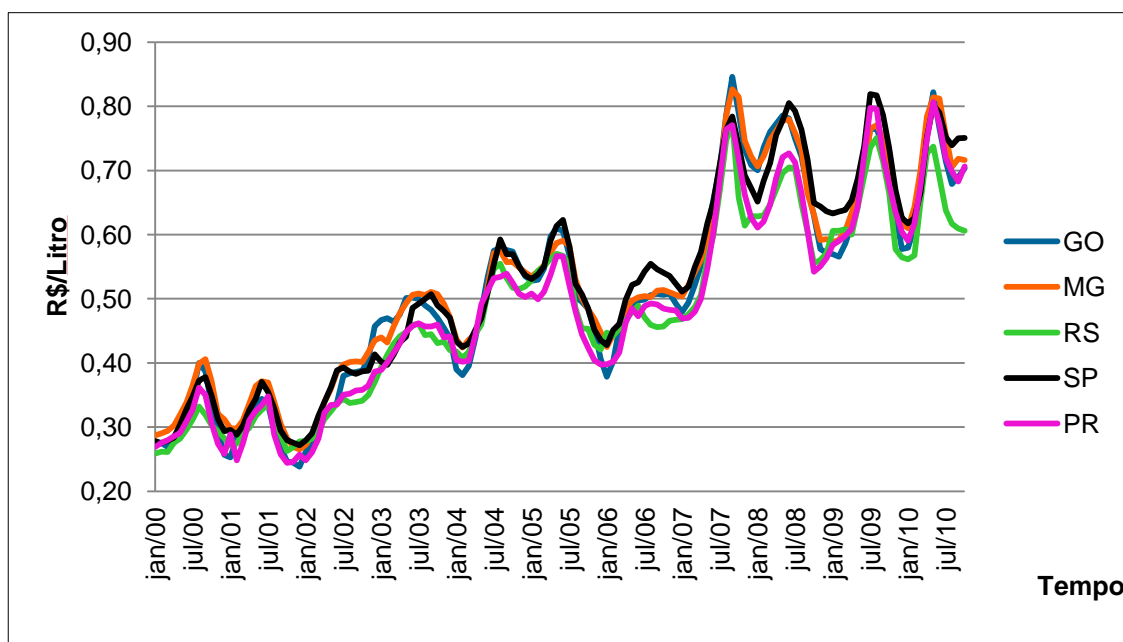


Figura 2 - Comportamento do preço do leite nos principais estados brasileiros produtores de leite de janeiro de 2000 a julho de 2010

Fonte: adaptado do CEPEA / ESALQ / USP (2010)

A sazonalidade do preço do leite pode ser explicada por três argumentos: i) a memória do produtor safrista cria o clima para redução do preço no início da época chuvosa, mesmo que a produção não tenha aumentado significativamente, ii) o menor custo de produção no verão devido abundância de pastagens em relação ao inverno, quando o consumo de concentrado é maior e iii) as imperfeições do mercado em nível industrial que potencializa os efeitos da memória safrista e do menor custo de produção na época das águas (MARIN; CAVALHEIRO; ANSCHAU, 2011).

A distância entre a indústria e o produtor é fator importante na determinação do preço do leite (SILVA; REIS; GOMES, 2000). A pulverização da produção leiteira eleva os

custos de captação e armazenamento do leite (BARROS; DE LIMA; FERNANDES, 2010). O transporte representa entre 4% a 25% do preço do leite recebido pelo produtor, chegando, em algumas regiões do Brasil, a 40%. Essa diferença é determinada pela baixa densidade de produção, que é a relação da quantidade produzida pela quantidade de quilômetros percorridos pelo veículo, das fazendas às plataformas de recepção (SILVA; REIS; GOMES, 2000). No entanto, tem ocorrido aumento na captação de leite cru para processamento devido ao crescimento da participação de pequenas empresas no mercado. As empresas maiores têm perdido receita em detrimento de perdas de pequenas parcelas do mercado para as empresas menores (BARROS; DE LIMA; FERNANDES, 2010).

A política econômica também influencia o comportamento dos preços dos produtos agropecuários. A cadeia agroindustrial leiteira brasileira sofreu grandes transformações motivadas pela desregulamentação do mercado, pela abertura da economia nacional ao mercado internacional e pela implantação do Plano Real que estabilizou os preços, elevou os juros e valorizou o câmbio desprotegendo mais o setor primário na década de 1990 (MARIN; CAVALHEIRO; ANSCHAU, 2011).

Na década de 1970, havia baixo nível tecnológico e despreocupação com o setor leiteiro do agronegócio enquanto que a década de 1980 foi caracterizada pelo intervencionismo governamental no setor (MARIN; CAVALHEIRO; ANSCHAU, 2011). Até a década de 1990, a política leiteira brasileira focou na formação dos preços ao longo da cadeia. A fixação dos preços foi baseada em cálculos de custos de produção pelos Sindicatos Rurais (antes conhecidos como Federações da Confederação Nacional da Agricultura) e as associações de produtores. Estes cálculos não refletiam os custos dos produtores mais eficientes, mas sim o dos menos eficientes. Isto resultou em consumidores pagando preços do leite maiores do que os preços internacionais e no não fornecimento de incentivo para a qualidade ou melhorias de produtividade e investimentos em exploração. O sistema acima deixou a cadeia leiteira desequilibrada no final da década de 1980 (FARINA et al., 2005).

A partir na década de 1990, o setor leiteiro do agronegócio sofreu mudanças primordiais para o atual cenário, influenciadas por fatores internos, como desregulamentações governamentais, e externos, como a intensificação da globalização e a consolidação de blocos econômicos (ABRANTES et al., 2008). Dentre as desregulamentações, destacam-se a eliminação do sistema de fixação de preços ao longo da cadeia produtiva, a redução de alíquotas e de barreiras não-tarifárias a produtos lácteos importados (FARINA et al., 2005; ABRANTES et al., 2008; MARIN; CAVALHEIRO; ANSCHAU, 2011). Adicionalmente, o Plano Real, implantado em 1994, possibilitou a estabilização econômica. A partir de então, os

efeitos da sazonalidade sobre os preços do leite foram menores que os observados no período anterior a 1994, quando havia altas taxas de inflação. Ou seja, a estabilização da economia parece ter colaborado para diminuir os efeitos sazonais sobre o preço do leite pago ao produtor (MARIN; CAVALHEIRO; ANSCHAU, 2011).

Durante esse período, ocorreu a implantação do processo de granelização do leite que consiste no transporte do leite cru refrigerado a granel em caminhões tanque isotérmicos para facilitar a manipulação do leite pelas usinas processadoras de lácteos, reduzir perdas e custos de transporte e melhorar a qualidade do leite. No entanto, este processo exigiu significativos investimentos em sistemas de refrigeração do leite e ampliação da escala de produção. Diante desse cenário, novas indústrias surgiram, grandes redes de supermercados cresceram, cooperativas e empresas com práticas comerciais tradicionais enfraqueceram e importadores independentes de indústrias laticinistas aumentaram a participação no setor elevando a importação de produtos lácteos que pressionou os preços e os lucros no mercado interno (MIRANDA; MARTINS; DE FARIA, 2007). Essas medidas aumentaram a concorrência doméstica e possibilitaram que o mercado se encarregasse de suprir a demanda da população brasileira bem como de diminuir os custos de produção para o controle da inflação (ABRANTES et al., 2008; MARIN; CAVALHEIRO; ANSCHAU, 2011).

O comportamento do consumo de produtos lácteos no mercado também devem ser considerados na variação do preço do leite pago ao produtor. O excesso de leite no mercado provoca queda dos preços. No Rio Grande do Sul, os preços do leite tendem a ser menores nos seis primeiros meses do ano devido ao baixo consumo e a alta oferta de leite no mercado. Neste período, de altas temperaturas, o consumo de leite é menor e a disponibilidade de pastagens é maior em relação ao inverno (MARIN; CAVALHEIRO; ANSCHAU, 2011).

A mudança de hábitos alimentares do consumidor pode influenciar o valor dos componentes do leite. O valor da gordura do leite pode diminuir como consequência da menor demanda por alimentos com maior teor de gordura, como a manteiga, em detrimento do aumento da preferência do consumidor por alimentos com menor teor de gordura, como as pastas lácteas (“dairy spreads”), ricas em proteína (BREEN, 2001). Estudo sobre demanda do consumidor por produtos lácteos na região de Boston, nos EUA, indica que há preferência global para leite convencional contendo gordura, principalmente em famílias com crianças abaixo de 15 anos de idade, sendo que a preferência aumenta com a elevação da quantidade de filhos dessa faixa etária. Em contrapartida, quanto maior a renda familiar, maior é a preferência por tipos especiais de leite, como leites orgânicos, leites sem lactose e, acima de todos, leites com baixos teores de gordura (LOPEZ; LOPEZ, 2009). Na Irlanda, o consumo de

leite integral e de manteiga diminuiu enquanto que a demanda por produtos lácteos com menor teor de gordura, como leite desnatado, queijos, iogurtes e pastas lácteas, aumentou no período compreendido entre 1989 e 1999, acarretando em desvalorização da gordura do leite em relação à proteína (BREEN, 2001). A mudança de preferência de leite integral para leite desnatado nos consumidores foi uma das razões para se estabelecer o pagamento dos componentes do leite na Califórnia (GRUEBELE, 1979).

Essa tendência nos hábitos alimentares do consumidor leva a indústria láctea a investir no aumento da produção de alimentos lácteos ricos em proteína, acarretando em valorização deste nutriente em relação aos outros componentes sólidos do leite, e o sistema de pagamento deve refletir essa valorização (BREEN, 2001). Em avaliação de quatro sistemas de pagamento (preço fixo com diferencial para gordura, preço fixo com diferencial para gordura e proteína, preço fixo com diferencial para gordura e sólidos desengordurados e preço ajustado pelo valor do queijo), foi observado que a crescente demanda por queijo levou à introdução do preço diferencial para proteína (CRAGLE et al., 1986).

As indústrias lácteas devem tomar decisões sobre as quantidades ideais de cada produto a ser produzido para maximizar seus lucros. Essas decisões são influenciadas pelos preços mensais desses produtos, pela demanda mensal por cada produto de acordo com a fatia do mercado da empresa, pela capacidade da planta processadora de cada produto, pelo fornecimento mensal de leite cru, pela composição e qualidade do leite fornecido e pelos custos de produção de cada produto (BREEN, 2001). Considerando todos esses fatores, as indústrias lácteas podem tomar decisões em relação ao destino do leite e à proporção de cada produto a ser produzido, ou seja, as indústrias podem utilizar os modelos de pagamento dos múltiplos componentes sólidos do leite como ferramenta de tomada de decisões para maximizar seus lucros.

### **1.1.7 Requisitos e benefícios de precificação do leite cru pela qualidade**

Um sistema de apreçamento dos múltiplos componentes do leite deve ser justo e equitativo para fornecedores de leite devido à variação na composição do leite entre produtores. Também deve fomentar práticas de melhoramento (reprodução, sanidade e nutrição) na composição do leite fornecido para produzir alimentos seguros, assim como tem que ser coerente com os resultados de testes das amostras de leite (GRUEBELE, 1979; BREEN, 2001). Em outras palavras, neste tipo de sistema, deve haver transparência na

remuneração da indústria ao produtor, equilíbrio de valores propostos para ambos e incentivo à melhoria da qualidade dos produtos lácteos.

A fórmula de apreçamento do leite mais adequada para plantas industriais de leite fluido deve considerar gordura e uma constante fixa de desconto sobre o volume; para plantas de fabricação de manteiga e leite em pó desnatado deve considerar gordura, proteína, lactose e minerais e para produção de queijo do tipo “cheddar” deve considerar gordura e proteína (EMMONS et al., 1990). Estes autores consideraram mais adequadas as fórmulas que geraram menores variações nos custos do leite para cada unidade de produto fabricado considerando variações sazonais na composição do leite.

Utilizando regressão para determinar os valores unitários de gordura, proteína e do veículo do leite (água, lactose, minerais e outros sólidos), foi verificado que o veículo apresentou valor positivo na produção de leite fluido (BANGSTRA et al., 1988). No entanto, em plantas industriais de fabricação de outros produtos lácteos (queijo, manteiga, etc.) o veículo deve ser removido gerando custos adicionais à indústria. Assim, eles relataram que o decréscimo de 1% de veículo entrando na planta industrial de queijo equivalia a \$ 11000 de redução de custos anuais.

Ao avaliar o impacto de modelos de pagamento do leite sobre produtores de diferentes dimensões e sistemas de produção, foi verificado que os grandes produtores e os com sistema de gestão mais consistente teriam maior retorno sob o modelo de pagamento baseado na gordura e nos sólidos desengordurados do leite, enquanto que os produtores pequenos e os com sistemas de gestão menos complexos lucrariam mais com o modelo de pagamento baseado na proteína do leite (GRUEBELE, 1982). Ainda concluiu que a fórmula de apreçamento mais justa para produtores de leite e para fábricas de queijo é a que remunera em função do rendimento de queijo produzido; para produtores de leite e para fábricas de manteiga, leite em pó desnatado e leite fluido é a que considera gordura e sólidos desengordurados do leite.

Em contrapartida, há preferência por equações de preço baseados em proteína do que em sólidos desengordurados porque a proteína é a porção mais variável e valiosa dos sólidos desengordurados sendo a mais afetada em programas de seleção e cruzamentos, além de possuir maior importância do que lactose (JOHNSON, 1973). Adicionalmente, afirma que atualmente há testes confiáveis de baixo custo para determinação de proteína e que é mais facilmente adaptável na monitoração de entrada e saída em plantas industriais.

Em estudo comparando a lucratividade do sistema de produção leiteira utilizando rebanho da raça Holandesa com a do sistema utilizando rebanho da raça Jersey em

esquemas de pagamento do leite, concluiu-se que, em esquemas de pagamento sem bonificação para gordura e proteína ou com bonificação sobre o acréscimo percentual na produção leiteira praticada por indústrias, a rentabilidade da produção leiteira do rebanho Holandês é maior que a do rebanho Jersey. Entretanto, o sistema de produção leiteira utilizando a raça Jersey apresentou maior lucratividade em esquemas de pagamento do leite com bonificação de 5% e de 10% sobre o preço do leite para cada unidade percentual de gordura e de proteína, respectivamente, produzidas a mais do que na raça Holandesa (DA CUNHA et al., 2010).

Em muitos casos, além dos constituintes sólidos do leite, as indústrias consideram características como CCS, para determinação do valor do leite devido à influência desta variável ser tão importante quanto a das quantidades de proteína, gordura e lactose no rendimento do produto lácteo final, como queijo (NORMAN et al., 1991). Em estudo avaliando os efeitos da sazonalidade dos teores de proteína e gordura do leite de propriedades de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo sobre o sistema de pagamento apresentado na Tabela 3, foi observado que as maiores bonificações ocorreram no outono (7,87%), quando os teores de gordura (3,65%) e de proteína (3,21%) foram os maiores e a contagem bacteriana total (CBT = 57 mil ufc/mL) foi a menor dentre as estações do ano devido aos menores índices de conforto (16,46 °C; umidade relativa (UR) = 79,06%; 0,6 mm/dia e ITU = 66) registrados nessa época. Por outro lado, as menores bonificações (média = 2,92%) ocorreram na primavera e no verão, quando foram registradas as maiores médias de CCS (552,5 mil células/mL) e CBT (148 mil ufc/mL) devido aos maiores índices médios de conforto (24,5 °C; UR = 82,47%; 5,16 mm/dia e ITU = 74,5) (ROMA et al., 2009).

Se a elevação nos teores dos sólidos do leite não for remunerada, haverá decréscimo na porcentagem dos componentes sólidos do leite porque o custo de produção deles é maior do que o de produzir maior quantidade de leite apenas em volume. Ainda afirma-se que muitos produtores de leite com altos teores de gordura e de proteína recebem menos do que deveriam, enquanto outros produtores de leite com baixos teores destes sólidos recebem além do que mereceriam devido à maioria das indústrias não calcular o preço do leite de acordo com o valor dos produtos lácteos finais (NORMAN et al., 1991). Por este motivo, além de outros, os preços dos componentes sólidos do leite devem ser calculados a partir dos valores dos produtos em que serão transformados, descontando os custos de processamento de outros ingredientes (HILLERS et al., 1980). Além disso, em estudo comparando laticínios irlandeses, dinamarqueses, holandeses e neozelandeses, foi demonstrado que há maior transparência no pagamento pelo leite quando os valores e o suprimento de seus constituintes



sólidos são expressos em relação à quantidade em quilogramas ao invés de serem expressos em relação à porcentagem (BREEN, 2001).

Tabela 3 – Tabelas de valores de bonificação/penalização em função dos parâmetros de qualidade do leite, como gordura, proteína, contagem de células somáticas e contagem bacteriana total

Limites	Remuneração
<b>Gordura, %</b>	
$x > 3,40$	+ 6% por ponto percentual
$3,30 \leq x \leq 3,40$	sem bônus/desconto
$x < 3,30$	- 6% por ponto percentual
<b>Proteína, %</b>	
$x > 3,05$	+ 6% por ponto percentual
$3,00 \leq x \leq 3,05$	sem bônus/desconto
$x < 3,00$	- 6% por ponto percentual
<b>CCS, mil células/mL</b>	
$x < 150$	+ 7%
$150 \leq x < 450$	+ 1% por 50 mil células/mL reduzidas
$450 \leq x \leq 500$	sem bônus/desconto
$500 < x \leq 750$	- 1% por 50 mil células/mL aumentadas
$x > 750$	- 7%
<b>CBT, mil ufc/mL</b>	
$x < 25$	+ 4%
$25 \leq x < 100$	+ 1% por 25 mil ufc/mL reduzidas
$100 \leq x \leq 125$	sem bônus/desconto
$125 < x \leq 200$	- 1% por 25 mil ufc/mL aumentadas
$x > 200$	- 5%

Fonte: adaptado de Roma, Montoya et al. (2009)

Programas de remuneração do produtor combinando premiação e penalização pela qualidade do leite cru podem, não somente auxiliar a indústria a processar produtos lácteos de melhor qualidade, mas também adequar a qualidade da matéria-prima às normas legais (BOTARO; GAMEIRO; SANTOS, 2013).

Um sistema de ajuste de preços que valoriza o leite em função da composição pode ajudar a unir os interesses de produtores e da indústria focando mais na composição dos sólidos do que no volume do leite (BREEN, 2001). Adicionalmente, este tipo de sistema possibilita que produtores comparem suas produções de componentes sólidos do leite com as de outros produtores e adotem diferentes métodos de manejo para incrementar a constituição sólida do leite, beneficiando também a indústria (GRUEBELE, 1979). Segundo este autor, houve significativa elevação nos teores de sólidos do leite após a implantação do apereçamento dos múltiplos componentes do leite na Califórnia em 1962. Além de incentivar produtores a

melhorar a composição do leite, este modelo de pagamento pode inibir a adulteração do leite pela adição de água, já que o foco da produção não é mais o volume do produto, mas sim a qualidade. O aumento no teor dos constituintes sólidos do leite pode aumentar a produção de alimentos lácteos por unidade de volume de leite (maior rendimento) e diminuir os custos operacionais de remoção da água do leite. Outro benefício que o sistema de pagamento dos múltiplos componentes do leite traz à indústria é o maior controle de custos de matéria-prima (sólidos do leite) por unidade de produto lácteo manufaturado (BREEN, 2001).

## Referências

- ABRANTES, L.A.; GOMES, A.P.; FERREIRA, M.A.M.; BRUNOZI JUNIOR, A.C.; SILVA, M.P. Eficiência como critério de tipificação da indústria laticinista mineira. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46, 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: SOBER, 2008. p. 20.
- ALMEIDA JÚNIOR, J.F.D. **Planejamento da produção na indústria de laticínios: práticas atuais e desenvolvimento de um protótipo de sistema de apoio à decisão.** 2004. 107 p. Dissertação (Magister Scientiae em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- ALMEIDA JÚNIOR, J.F.D.; DA SILVA, C.A.B. Um sistema de apoio à decisão em planilha eletrônica para o planejamento da produção na indústria de laticínios. **Revista Brasileira de Agroinformática**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 15, 2005. Disponível em: <<http://www.sbiagro.org.br/pdf/revista/rbiagro-v7n2-artigo2.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2013.
- ANDREATTA, E.; DOS SANTOS, M.V.; MUSSARELLI, C.; MARQUES, M.C.; GIGANTE, M.L. Quality of minas frescal cheese prepared from milk with different somatic cell counts. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 320-326, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n3/v44n3a14.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2013.
- BANGSTRA, B.A.; BERGER, P.J.; FREEMAN, A.E.; DEITER, R.E.; LAGRANGE, W.S. Economic value of milk components for fluid milk, cheese, butter, and nonfat dry milk and responses to selection. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 71, n. 7, p. 1789-1798, July 1988. Disponível em: <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(88\)79747-7/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(88)79747-7/abstract)>. Acesso em: 22 nov. 2013.
- BARROS, F.L.A.; DE LIMA, J.R.F.; FERNANDES, R.A.S. Análise da estrutura de mercado na cadeia produtiva do leite no período de 1998 a 2008. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 8, n. 2, p. 22, 2010. Disponível em: <<http://posgrad.der.ufv.br/revista/pdf/2010/v8n2/artigo%202.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2013.
- BICALHO, R.D.A.; MACHADO, M.C.D.S.; PAÇO-CUNHA, E. Estudo das relações laticínios - pequenos produtores na região de Juiz de Fora. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46, 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: SOBER, 2008. p. 18.

BLOWEY, R.W.; EDMONDSON, P. **Mastitis control in dairy herds**. Wallingford: Cabi, 2010. 272 p.

BOTARO, B.G.; GAMEIRO, A.H.; SANTOS, M.V.D. Quality based payment program and milk quality in dairy cooperatives of Southern Brazil: an econometric analysis. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 1, p. 21-26, 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162013000100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162013000100004&script=sci_arttext)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

BRASIL. Leis, decretos, etc. Lei nº 12669 de 19 de junho de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 12669, p. 1, 2012.

\_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 62. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 62, 2011.

BREEN, J.P. **A new direction for the payment of milk**: technological and seasonality considerations in multiple component milk pricing (liquid and manufacturing) for a diversifying dairy industry. 2001. 188 p. Thesis (Master of Science in Agricultural Science) - Department of Agribusiness, Extension and Rural Development, University College of Dublin, Dublin, 2001.

CAIXETA-FILHO, J.V. **Pesquisa operacional**: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 176 p.

CANZIANI, J.R.; GUIMARÃES, V.D. . **Manual de instruções do Conceleite - Paraná**. Curitiba: SENAR – PR, Centro de Documentação, Informações Técnicas e Biblioteca, 2003. 110 p.

CASSOLI, L.D. **Uma simples pergunta**: a qualidade do leite tem melhorado nos últimos anos? Artigos Especiais. Cadeia do leite. Milkpoint. Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br/cadeia-do-leite/artigos-especiais/uma-pergunta-simples-a-qualidade-do-leite-tem-melhorado-nos-ultimos-anos-79994n.aspx>>. Acesso em: 27 nov. 2013.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 25 nov. 2010.

CHANG, H.H.; MISHRA, A.K. Does the milk income loss contract program improve the technical efficiency of US dairy farms? **Journal of Dairy Science**, New York, v. 94, n. 6, p. 2945-2951, June 2011. Disponível em: <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(11\)00282-7/fulltext](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(11)00282-7/fulltext)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

CRAGLE, R.; MURPHY, M.; WILLIAMS, S.; CLARK, J. Effects of altering milk-production and composition by feeding on multiple component milk pricing systems. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 69, n. 1, p. 282-289, Jan. 1986. Disponível em: <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(86\)80399-X/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(86)80399-X/abstract)>. Acesso em 21 nov. 2013.

CRAIG, K.L.; NORBACK, J.P.; JOHNSON, M.E. A linear programming model integrating resource allocation and product acceptability for processed cheese products. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 72, n. 11, p. 3098-3108, 1989. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030289794649>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

DA CUNHA, D.; PEREIRA, J.C.; DE CAMPOS, O.F.; GOMES, S.T.; BRAGA, J.L.; MARTUSCELLO, J.A. Simulation of Holstein and Jersey profitability by varying milk price payment system. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 913-923, Apr. 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982010000400028&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982010000400028&script=sci_arttext)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

DE CARVALHO, T.B.; JANUARIO, E.D.C.; MORON, C.R.; SAES, M.S.M. Estratégia e cenários de consumo de leite no brasil. In: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO, 16., 2013, São Paulo. São Paulo: USP, FEA, 2013. p. 15. Disponível em: <<http://www.semead.com.br/16semead/resultado/trabalhosPDF/470.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

EDWARDS, C. **The madness of american milk prices**. Washington, 2007. Disponível em: <[http://www.cato.org/pub\\_display.php?pub\\_id=8479](http://www.cato.org/pub_display.php?pub_id=8479)>. Acesso em: 26 abr. 2011.

EMMONS, D.B.; TULLOCH, D.; ERNSTROM, C.A.; MORISSET, M.; BARBANO, D. Product-yield pricing system. 2. Plant considerations in multiple-component pricing of milk. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 73, n. 7, p. 1724-1733, July 1990. Disponível em: <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(90\)78849-2/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(90)78849-2/abstract)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

FARINA, E.; GUTMAN, G.E.; LAVARELLO, P.J.; NUNES, R.; REARDON, T. Private and public milk standards in Argentina and Brazil. **Food Policy**, Oxford, v. 30, n. 3, p. 302-315, Jun 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919205000321>>. Acesso em 21 nov. 2013.

GEARY, U.; LOPEZ-VILLALOBOS, N.; GARRICK, D.; SHALLOO, L. Development and application of a processing model for the Irish dairy industry. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 93, n. 11, p. 5091-5100, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030210005497>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

GRUEBELE, J.W. The California experience in component pricing. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 62, n. 8, p. 1368-1373, 1979. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B9887-4YY69T8-12/2/e40eda6b6b7dae50ae89351f938d6502>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

\_\_\_\_\_. Alternative milk pricing programs. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 65, n. 3, p. 460-468, 1982. Disponível em: <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(82\)82216-9/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(82)82216-9/abstract)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

HILLERS, J.K.; NIELSEN, V.H.; FREEMAN, A.E.; DOMMERHOLT, J.; DEITER, R.E. Value of fat and protein in producer milk. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 63, n. 2, p. 322-327, 1980. Disponível em: <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(80\)82933-X/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(80)82933-X/abstract)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

JOHNSON, S. Pricing systems as related to milk composition variability. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 56, n. 2, p. 297-312, 1973. Disponível em: <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(73\)85167-7/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(73)85167-7/abstract)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

KERRIGAN, G.L.; NORBACK, J.P. Linear-programming in the allocation of milk resources for cheese making. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 69, n. 5, p. 1432-1440, May 1986. Disponível em: <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(86\)80552-5/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(86)80552-5/abstract)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

LACAZE, V. **Las regulaciones de alimentos y los consumidores**: estudio de caso en el sector lácteo de la Argentina actual. 2008. 271 p. Tesis (Maestría en Diseño y Gestión de Políticas y Programas Sociales), Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Mar del Plata, 2008.

LOPEZ, E.; LOPEZ, R. A. Demand for differentiated milk products: implications for price competition. **Agribusiness**, New Jersey, v. 25, n. 4, p. 453-465, 2009. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/agr.20219/abstract>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

MARIN, S.R.; CAVALHEIRO, A.G.; ANSCHAU, D. Sazonalidade do preço do leite no Rio Grande do Sul (1986-2009). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, p. 361-364, 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782011000200030&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782011000200030&nrm=iso)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

MIRANDA, G.J.; MARTINS, V.F.; DE FARIA, A.F. O uso da programação linear num contexto de laticínios com várias restrições na capacidade produtiva. **Custos e Agronegócio Online**, Recife, v. 3, p. 19, 2007. Disponível em: <[www.custoseagronegocionline.com.br](http://www.custoseagronegocionline.com.br)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

MOORI, R.G.; LIMA, R.L.P.; MENEZES, J.E.D.S. Uma análise do relacionamento entre produtores rurais de leite ea indústria de laticínios. In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 14., 2011, São Paulo. São Paulo: FGV, 2011. p. 16. Disponível em: <[http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2011/artigos/E2011\\_T00380\\_PCN17332.pdf](http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2011/artigos/E2011_T00380_PCN17332.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

MOREIRA, D.A. **Pesquisa operacional**: curso introdutório. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 356 p.

NEW ZEALAND. **Dairy industry restructuring (raw milk) act regulations 2001**. Ministry of Agriculture and Forestry. Wellington. 2001. 22 p.

NORMAN, H.D.; WRIGHT, J.R.; COVINGTON, C.B.; BARTON, E.P.; ERNSTROM, C.A. Potential for segregating milk - herd differences in milk value for fluid and five manufactured products. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 74, n. 7, p. 2353-2361, July 1991. Disponível em: <<http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030291784099.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

PAINTER, M.J. A comparison of the dairy industries in Canada and New Zealand. **Journal of International Farm Management**, Cambridge, v. 4, p. 20, 2007. Disponível em: <[http://www.ifmaonline.org/pdf/journals/Vol4Ed1\\_Painter.pdf](http://www.ifmaonline.org/pdf/journals/Vol4Ed1_Painter.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

ROMA, L.C.; MONTOYA, J.F.G.; MARTINS, T.T.; CASSOLI, L.D.; MACHADO, P.F. Seasonability of protein and others milk components related with quality payment program. **Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinaria e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 6, p. 1411-1418, Dec. 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-09352009000600022&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-09352009000600022&script=sci_arttext)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

SBRISSIA, G.F.; BARROS, G.S.A.D.C. Sistema agroindustrial do leite: formas de pagamento e bonificações por volume. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: SOBER, 2008. p. 19. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/12/01O039.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

SILVA, I.C.V.D.; REIS, R.P.; GOMES, M.J.N. Custos e otimização de rotas no transporte de leite a latão e a granel: um estudo de caso. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 8, 2000. Disponível em: <<http://revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/viewArticle/289>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Milk income loss contract program and price support program for milk**: 7 CFR Part 1430; RIN 0560-AH83. Washington, 2008. 5 p. Federal Register. 7 CFR Part 1430; RIN 0560-AH83.

\_\_\_\_\_. **Milk Income Loss Contract (MILC) Program**. Washington, 2011. 4 p.



## 2 É POSSÍVEL PLANEJAR O MIX DE PRODUTOS QUE MAXIMIZA O LUCRO EM LATICÍNIOS?

### Resumo

Pequenos e médios laticínios têm grandes dificuldades no planejamento da produção. Técnicas de otimização, como programação linear (PL), ajudam a resolver problemas relacionados à decisão do mix de produtos. Em razão disso, foi desenvolvido modelo em PL para determinação do mix ótimo de produtos lácteos que maximize a margem de contribuição total (MCT) em cenários diários de alta (Janeiro) e baixa (Julho) disponibilidade de matéria prima comparando as soluções ótimas com resultados reais. As margens de contribuição totais dos mixes ótimo e real de Janeiro foram maiores devido à maior disponibilidade de matéria prima. A embalagem foi um recurso limitante atuante na produção do queijo Minas Frescal nos mixes ótimos. A relação entre margem de contribuição unitária (MCU) e quantidade necessária de matéria prima por unidade de produto e a disponibilidade de recursos são determinantes na definição do mix de produtos lácteos e da MCT do laticínio. O laticínio pode maximizar sua MCT planejando melhor seu mix de produtos com a utilização de programação linear.

Palavras-chave: Programação linear; Otimização; Pesquisa operacional; Proteína do leite; Gordura do leite; Caseína; Produtos lácteos; Queijo

### Abstract

Small and medium-sized dairies face great difficulties in planning production. Optimization techniques, as linear programming (LP), aid to solve problems regarding to product mix decision. Thus, a model was developed in LP to determine the optimal mix of dairy products that maximize the total contribution margin (TCM) in daily scenarios of high (January) and low (July) availability of raw material (raw milk) by comparing optimal solutions with actual results. The TCM of optimal and actual mixes were higher in January due to the greater availability of raw material. The packaging was a limiting factor in the production of Minas Fresh cheese in optimal mixes. The relationship between unit contribution margin (UCM) and the required amount of raw materials per product unit and resource availability is crucial to define the mix of dairy products and the TCM of the dairy. The dairy can maximize its TCM by better planning its mix of products with the use of linear programming.

Keywords: Linear programming; Optimization; Operations research; Milk protein; Fat milk; Casein; Dairy products, Cheese

### 2.1 Introdução

A realização da programação do ‘mix’ ótimo de derivados lácteos que maximize a MCT, ou seja, a diferença entre receitas e custos diretos, é uma grande dificuldade dos laticínios, principalmente dos pequenos e médios (KERRIGAN; NORBACK, 1986). Essa dificuldade deve-se a diversos fatores, dentre os quais se destacam a sazonalidade da produção de leite, a variabilidade da qualidade do leite, a baixa capacitação dos



responsáveis pelo planejamento da produção do laticínio, falhas no planejamento da produção, o desconhecimento de ferramentas de apoio à decisão, a ausência ou a adoção de práticas rudimentares de controle contábil e o desconhecimento de coeficientes técnicos e indicadores de eficiência industrial relacionados aos equipamentos, estrutura, recursos materiais e humanos da planta processadora de lácteos (ALMEIDA JÚNIOR, 2004).

Para que os pequenos laticínios mantenham-se no mercado, devem otimizar a utilização do parque industrial existente. Essa otimização depende muito do processo produtivo e mercadológico, do gerenciamento da matéria prima (leite cru), considerada uma restrição, pois sua oferta é irregular ao longo do ano devido à sazonalidade de sua produção (MIRANDA; MARTINS; DE FARIA, 2007). Portanto, os aspectos relativos à capacidade operacional das linhas de equipamentos e dos recursos humanos da planta industrial, assim como o conhecimento dos custos e margens unitárias dos produtos, são fatores essenciais para o planejamento industrial e tomada de decisões sobre a programação da produção (ALMEIDA JÚNIOR; DA SILVA, 2005).

A tarefa de definir o ‘mix’ mais lucrativo torna-se muito difícil sem o auxílio de ferramentas matemáticas e computacionais de apoio à decisão no momento de planejar a produção de lácteos, pois essa tarefa exige cálculos que envolvem muitos coeficientes técnicos e econômicos (GEARY; SHALLOO; LOPEZ, 2010). No entanto, há programas computacionais baseados em programação linear (PL) que resolvem de forma simplificada esses problemas de definição de ‘mix’ ótimo para maximização da margem de contribuição respeitando restrições operacionais e mercadológicas. No caso de indústrias de produtos lácteos, cujos processos produtivos podem originar produtos intermediários, como o creme e o soro do leite, que são matérias-primas de outros produtos, a aplicação de PL é eficiente para resolver problemas de otimização de processos e definição do ‘mix’ de produção com ampla variedade de produtos (ALMEIDA JÚNIOR, 2005).

A PL é uma técnica matemática de resolução de sistemas de equações ou inequações lineares via inversões sucessivas de matrizes, ou seja, é um modelo matemático de solução de problemas que envolvem variáveis mensuráveis passíveis de serem expressas por equações ou inequações usado para alocação mais eficaz de recursos (CAIXETA-FILHO, 2010; MOREIRA, 2010).

Ferramentas de otimização, como a PL, são amplamente utilizadas pelo setor industrial. Na agroindústria, alguns estudos utilizando PL e outras técnicas de otimização em laticínios já foram realizados (KERRIGAN; NORBACK, 1986; YATES; REHMAN, 1998; SILVA; REIS; GOMES, 2000; BREEN, 2001; PAPADATOS et al., 2002; WOUDA et al.,

2002; DOGANIS et al., 2005; DOGANIS; SARIMVEIS, 2007, 2008; JOHNSON et al., 2007; VAKLIEVA-BANCHEVA et al., 2007; ROUPAS, 2008; ADONYI; SHOPOVA; VAKLIEVA-BANCHEVA, 2009; GEARY et al., 2010; GEARY; SHALLOO; LOPEZ, 2010; KOPANOS; PUIGJANER; GEORGIADIS, 2010; GUAN; PHILPOTT, 2011; AIDOO et al., 2012; GEARY et al., 2012; IBARRA et al., 2012). Foi descrito também ser possível solucionar o problema de padronização do leite para produção de queijo *Mozzarella* com 37% de gordura na matéria seca por PL maximizando a margem de contribuição do produto (KERRIGAN; NORBACK, 1986).

Antes de se implantar qualquer tipo semelhante de sistema de apoio à decisão, é necessário que o laticínio, assim como qualquer empresa de outro ramo, faça controle rígido dos custos de produção. Adicionalmente, os usuários do sistema devem ter conhecimento do processo e noções básicas de economia e administração para aproveitar bem os benefícios da ferramenta em prol da empresa. Apesar de as ferramentas computacionais e estatísticas serem cada vez mais necessárias e auxiliarem muito na geração de informação, nenhuma delas substitui a análise do tomador de decisões. Os modelos são guias para auxiliar na tomada de decisão. O julgamento do responsável pelo laticínio é necessário para avaliar a viabilidade da solução proposta pelo modelo (KERRIGAN; NORBACK, 1986; CRAIG; NORBACK; JOHNSON, 1989). Por isso é fundamental a capacitação profissional. Em função dessas carências da agroindústria leiteira, foi desenvolvido um modelo de solução de problemas de PL simulando um pequeno laticínio do Sudeste do Brasil para determinação do mix ótimo de produtos lácteos via maximização da MCT.

## **2.2 Material e métodos**

Um modelo matemático de otimização baseado em PL foi desenvolvido e testado utilizando dados de um pequeno laticínio da região de Piracicaba, São Paulo, Brasil. O laticínio forneceu dados técnicos e econômicos, enquanto que dados de composição do leite cru comprado pela usina foram fornecidos pela Clínica do Leite, Laboratório do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), localizada em Piracicaba, São Paulo, Brasil. Os dados foram organizados em planilhas do programa computacional Microsoft Excel 2007 para cálculo dos coeficientes técnicos e contábeis. Esses coeficientes técnicos e contábeis foram utilizados na elaboração de um modelo matemático para planejamento da programação do ‘mix’ ótimo (combinação ideal de quantidades de produtos lácteos ‘i’) do laticínio para

maximização da MCT diária sob restrições de dois cenários. O modelo foi processado no programa computacional GAMS 24.0 (General Algebraic Modeling System 24.0) utilizando o solver Cplex versão 12.5.0.0 (MCCARL et al., 2013) em ambos os cenários (Figura 3).

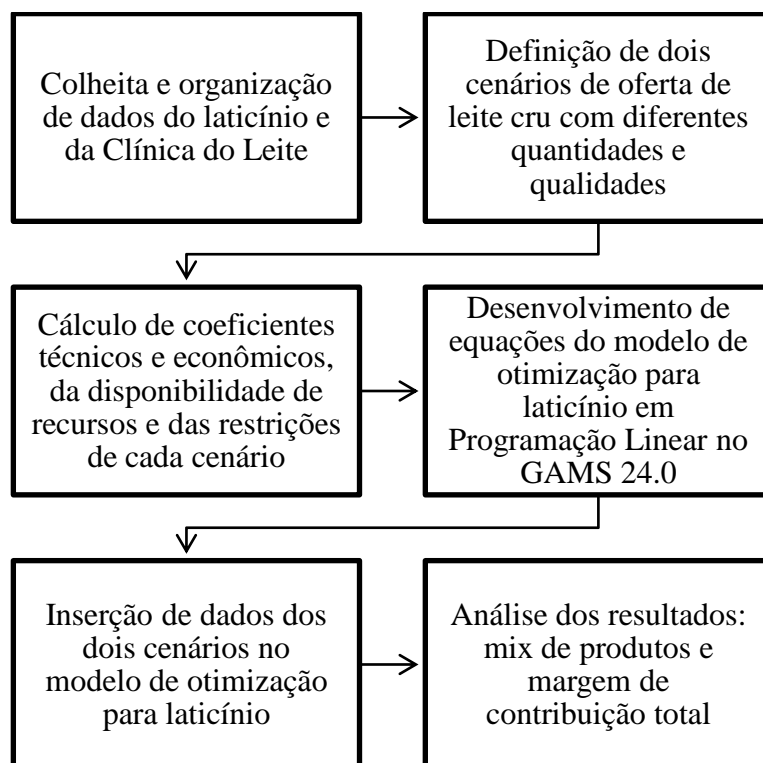


Figura 3 – Fluxograma resumido de processos adotados na metodologia da pesquisa

### 2.2.1 Cenários

Foram definidos dois cenários diários ‘j’ correspondentes aos meses de Janeiro e Julho de 2011, simulando os períodos de safra e entressafra da produção do leite cru em que há maior e menor captações médias diárias em litros (L) com diferentes composições médias (%), respectivamente, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Volumes e teores médios dos componentes dos dois tipos de leite cru captados pelo laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011

	Janeiro		Julho	
	Leite cru 1 <sup>1</sup>	Leite cru 50 <sup>2</sup>	Leite cru 1 <sup>1</sup>	Leite cru 50 <sup>2</sup>
Volume, L	1208,55	8206,51	1123,07	4172,03
Gordura, %	3,27	3,12	3,79	3,54
Proteína, %	3,28	3,19	3,41	3,29
Caseína, %	2,56	2,50	2,65	2,53

Fonte: elaborado pelo autor conforme dados do laticínio e da Clínica do Leite, ESALQ, USP

<sup>1</sup>Leite cru destinado à produção de leite pasteurizado tipo B padronizado em 3% de gordura

<sup>2</sup>Leite cru destinado à produção dos demais produtos lácteos

### 2.2.2 Variáveis de decisão e equações

O laticínio produzia e comercializava 10 produtos lácteos ‘i’, sendo leite fluído pasteurizado tipo B padronizado com 3% de gordura (LB) e leite fluído pasteurizado resfriado padronizado com 3% de gordura (LR), sete tipos de queijo (Minas Padrão (MP), Mussarela Comum (MC), Mussarela Bola (MB), Minas Frescal (MF), Provolone Bola (PB), Provolone Temperado (PT) e Ricota (RC)) e creme de leite com 40% de gordura (C40) proveniente da padronização do LB e do LR. O leite cru destinado à produção do LB (LC1) era fornecido diariamente por apenas um produtor enquanto que aproximadamente 50 produtores forneciam o leite cru para processamento dos demais produtos (LC50).

Para cada unidade de produto lácteo foram calculados seus respectivos coeficientes técnicos e econômicos: volumes de leite cru e soro em L, quantidades de proteína, caseína e gordura do leite em kg, quantidades de proteína e gordura do soro em kg, tempo de utilização de equipamentos (pasteurizador, padronizadora, ensacadora de leite fluído pasteurizado e embaladora de queijos) e de mão de obra em horas (h), custos diretos, margens de contribuição unitárias (MCU) e custos indiretos (Tabela 5).

Os coeficientes técnicos da padronizadora, do pasteurizador, da ensacadora, da mão de obra e das exigências de proteína, caseína e gordura de ambos os tipos de leite cru e de proteína e gordura do soro por unidade de produto ‘i’ em ambos os cenários ‘j’ foram calculados em função dos volumes dos dois tipos de leite cru e de soro necessários para a produção unitária, em L ou kg, de cada produto ‘i’. Os fluxos de processamento de leite do pasteurizador, da padronizadora e da ensacadora correspondiam a 4500, 6250 e 2500 L h<sup>-1</sup>, respectivamente. A embaladora embalava cada queijo ‘i’ em 1,5 minuto. O tempo utilizado de mão de obra por produto lácteo ‘i’ foi calculado em função dos tempos utilizados por equipamento e de preparo dos produtos. O volume de cada tipo de leite cru necessário para cada L ou kg de produto lácteo “i” difere entre os cenários devido à diferença na composição de ambos os tipos de leite cru de cada cenário.

Tabela 5 – Coeficientes de utilização de recursos por unidade (L ou kg) de produto lácteo nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011

Janeiro									
Recursos	LB*	LR*	MP*	MC*	MB*	MF*	PB*	PT*	RC*
Leite cru, L	1,01	1,00	8,12	8,91	8,91	6,13	11,43	11,43	3,91
Proteína, kg	0,034	0,033	0,267	0,293	0,293	0,202	0,376	0,376	0,129
Caseína, kg	0,027	0,026	0,209	0,230	0,230	0,158	0,295	0,295	0,101
Gordura, kg	0,030	0,030	0,261	0,286	0,286	0,197	0,367	0,367	0,126
Soro, L	-	-	-	-	-	-	-	-	16,03
Proteína, kg	-	-	-	-	-	-	-	-	0,135
Gordura, kg	-	-	-	-	-	-	-	-	0,119
Pasteur. <sup>1</sup> , h	0,0002	0,0002	0,0018	0,0020	0,0020	0,0014	0,0025	0,0025	0,0009
Padron. <sup>2</sup> , h	0,0002	0,0002	-	-	-	-	-	-	-
Ensac. <sup>3</sup> , h	0,0004	0,0004	-	-	-	-	-	-	-
Embal. <sup>4</sup> , h	-	-	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
MDO <sup>5</sup> , h	0,0008	0,0008	0,0339	0,1128	0,1128	0,0290	0,1140	0,1140	0,0307
MCU <sup>6</sup> , R\$	1,55	1,45	10,78	9,07	12,02	9,15	12,79	13,37	4,07
Julho									
Recursos	LB*	LR*	MP*	MC*	MB*	MF*	PB*	PT*	RC*
Leite cru, L	1,02	1,01	7,51	8,25	8,25	5,70	10,60	10,60	3,61
Proteína, kg	0,036	0,034	0,255	0,280	0,280	0,193	0,359	0,359	0,123
Caseína, kg	0,028	0,026	0,196	0,215	0,215	0,148	0,276	0,276	0,094
Gordura, kg	0,030	0,030	0,274	0,301	0,301	0,208	0,386	0,386	0,132
Soro, L	-	-	-	-	-	-	-	-	16,03
Proteína, kg	-	-	-	-	-	-	-	-	0,135
Gordura, kg	-	-	-	-	-	-	-	-	0,119
Pasteur. <sup>1</sup> , h	0,0002	0,0002	0,0017	0,0018	0,0018	0,0013	0,0024	0,0024	0,0008
Padron. <sup>2</sup> , h	0,0002	0,0002	-	-	-	-	-	-	-
Ensac. <sup>3</sup> , h	0,0004	0,0004	-	-	-	-	-	-	-
Embal. <sup>4</sup> , h	-	-	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
MDO <sup>5</sup> , h	0,0008	0,0008	0,0332	0,1125	0,1125	0,0287	0,1136	0,1136	0,0305
MCU <sup>6</sup> , R\$	1,55	1,45	10,78	9,07	12,02	9,15	12,79	13,37	4,07

Fonte: elaborado pelo autor conforme dados do laticínio e da Clínica do Leite, ESALQ, USP

\*LB: leite pasteurizado padronizado tipo B, LR: leite pasteurizado padronizado resfriado, MP: queijo Minas Padrão, MC: queijo Mussarela Comum, MB: queijo Mussarela Bola, MF: queijo Minas Frescal, PB: queijo Provolone Bola, PT: queijo Provolone Temperado e RC: queijo Ricota, <sup>1</sup>Pasteurizadora, <sup>2</sup>Padronizadora, <sup>3</sup>Ensacadora, <sup>4</sup>Embaladora, <sup>5</sup>Mão de obra e <sup>6</sup>Margem de contribuição unitária

O volume de leite cru necessário e a quantidade de C40 gerado por L de leite pasteurizado padronizado tipo B e tipo resfriado foram determinados através do Quadrado de Pearson Subtrativo (STEPHANI; PERRONE, 2012):

$$Q_{C40Bj} = 1,03 * V_{LBj} * [(40-3)-(40-G_{1j})]/(40-G_{1j}) \quad (3)$$

$$V_{LC1j} = (40-3)/(40-G_{1j}) \quad (4)$$

$$Q_{C40Rj} = 1,03 * V_{LRj} * [(40-3)-(40-G_{50j})]/(40-G_{50j}) \quad (5)$$

$$V_{LC50j} = (40-3)/(40-G_{50j}) \quad (6)$$

onde  $Q_{C40Bj}$  = quantidade (kg) de creme com 40% de gordura gerado pela padronização do leite pasteurizado padronizado tipo B no cenário “j”, 1,03 = densidade média (kg/L) do leite cru,  $V_{LBj}$  = volume (L) do leite pasteurizado padronizado tipo B no mix ótimo do cenário “j”, 40 = teor médio (%) de gordura do creme, 3 = teor médio (%) de gordura do leite pasteurizado padronizado tipo B (%),  $G_{1j}$  = teor (%) de gordura no LC1 no cenário ‘j’ (%),  $V_{LC1j}$  = volume (L) de LC1 necessário para processar um L de leite pasteurizado padronizado tipo B,  $G_{50j}$  = teor (%) de gordura no LC50 no cenário ‘j’ (%),  $Q_{C40Rj}$  = quantidade (kg) de creme com 40% de gordura gerado pela padronização do leite pasteurizado padronizado resfriado no cenário “j”,  $V_{LRj}$  = volume (L) do leite pasteurizado padronizado resfriado no mix ótimo do cenário “j” e  $V_{LC50j}$  = volume (L) de LC50 necessário para processar um L de leite pasteurizado padronizado resfriado. A soma do  $Q_{C40Bj}$  e  $Q_{C40Rj}$  corresponde à quantidade total (kg) de creme com 40% de gordura gerado pela padronização de ambos os tipos de leite pasteurizado no cenário “j”. As quantidades de proteína e caseína nos leites LB e LR são resultados da multiplicação entre os teores desses componentes nos tipos de leite cru LC1 e LC50, seus respectivos volumes necessários para cada L de LB e LR e a densidade média do leite cru (1,03).

Para determinar o volume de leite necessário na produção de cada kg dos queijos MP, MC, MB, MF, PB, PT e RC, utilizou-se a equação de predição de produção de queijos de Van Slyke adaptada (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003) apresentada a seguir:

$$V_{LC50Qij} = 1/\{1,03*1,22*[(RG_i*G_{50j})+(C_j-PC_i)]/(100-W_i)\} \quad (7).$$

O queijo RC é produzido com leite pasteurizado integral e soro proveniente da produção dos demais queijos. Para cálculo do volume (L) de leite cru necessário para o processamento de um kg de RC também foi utilizada a fórmula de Van Slyke adaptada (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003) substituindo-se o termo ‘ $C_j-PC_i$ ’ por ‘ $RP_i*P_j$ ’ como apresentada a seguir:

$$V_{LC50Qij} = 1/\{1,03*1,22*[(RG_i*G_{50j})+(RP_i*P_j)]/(100-W_i)\} \quad (8)$$

onde  $V_{LC50Qij}$  = volume (L) de LC50 necessário por kg de queijo 'i' no cenário 'j', 1,03 = densidade média (kg/L) do leite cru, 1,22 = constante para adição permitida de sal e sólidos,  $RG_i$  = coeficiente de retenção de gordura do leite no queijo 'i',  $G_{50j}$  = teor (%) de gordura no leite cru no cenário 'j',  $C_{50j}$  = teor (%) de caseína no leite cru no cenário 'j',  $PC_i$  = perda (%) de caseína do leite na produção do queijo 'i',  $RP_i$  = coeficiente de retenção de proteína na ricota,  $P_{50j}$  = teor médio (%) de proteína no leite cru no cenário 'j' e  $W_i$  = teor (%) de umidade do queijo 'i'.

O volume (L) de soro necessário para produção de um kg de RC foi definido pela seguinte equação:

$$V_{SRj} = 1/\{1,025*1,22*[(RG_i*0,725)+(RP_i*0,82)]/(100-W_i)\} \quad (9)$$

onde  $V_{SRj}$  = volume (L) de soro necessário por kg de ricota no cenário 'j', 1,025 = densidade média (kg/L) do soro, 1,22 = constante para adição permitida de sal e sólidos,  $RG_i$  = coeficiente de retenção de gordura na ricota, 0,725 = teor médio (%) de gordura do soro (TEIXEIRA; FONSECA, 2008),  $RP_i$  = coeficiente de retenção de proteína na ricota, 0,82 = teor médio (%) de proteína no soro (TEIXEIRA; FONSECA, 2008) e  $W_i$  = teor médio (%) de umidade da ricota (ESPER; BONETS; KUAYE, 2007).

As quantidades de gordura, proteína e caseína do LC50 nos queijos são resultados da multiplicação entre os teores desses componentes no LC50, seus respectivos volumes necessários para cada kg de queijo e a densidade média do leite cru (1,03). As quantidades de gordura, proteína e caseína do LC50 e do soro na ricota são resultados da multiplicação entre os teores desses componentes no LC50 e no soro, seus respectivos volumes necessários para cada kg de ricota a densidade média do leite cru (1,03).

Os valores das variáveis, provenientes de dados da literatura, de cada equação anteriormente apresentada estão ilustrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores das variáveis de cada uma das equações de quantidade, volume e rendimento de matérias-primas, produtos lácteos intermediários e finais nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011

Variável*	LB	LR	MP	MC	MB	MF	PB	PT	RC	C40 <sub>A</sub>	C40 <sub>B</sub>
RG	-	-	0,88 <sup>a</sup>	0,86 <sup>b</sup>	0,86 <sup>b</sup>	0,85 <sup>c</sup>	0,73 <sup>b</sup>	0,73 <sup>b</sup>	0,97 <sup>d</sup>	-	-
PC	-	-	0,32 <sup>a</sup>	0,36 <sup>b</sup>	0,36 <sup>b</sup>	0,13 <sup>c</sup>	0,53 <sup>b</sup>	0,53 <sup>b</sup>	-	-	-
W	-	-	49,85 <sup>a</sup>	46,00 <sup>b</sup>	46,00 <sup>b</sup>	61,31 <sup>e</sup>	39,00 <sup>b</sup>	39,00 <sup>b</sup>	69,60 <sup>f</sup>	-	-
RP	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99 <sup>d</sup>	-	-

Fonte: <sup>a</sup>(BARBOSA et al., 2009), <sup>b</sup>(CANZIANI; GUIMARÃES, 2003), <sup>c</sup>(ANDREATTA et al., 2009), <sup>d</sup>(MODLER, 1988), <sup>e</sup>(AQUINO et al., 2009) e <sup>f</sup>(ESPER; BONETS; KUAYE, 2007).

\*LB: leite pasteurizado padronizado tipo B, LR: leite pasteurizado padronizado resfriado, MP: queijo Minas Padrão, MC: queijo Mussarela Comum, MB: queijo Mussarela Bola, MF: queijo Minas Frescal, PB: queijo Provolone Bola, PT: queijo Provolone Temperado, RC: queijo Ricota, C40<sub>B</sub> e C40<sub>R</sub>: creme de leite com 40% de gordura da padronização dos leites LB e LR, respectivamente. RG: coeficiente de retenção de gordura no queijo, PC: perda de caseína do leite cru, W: teor médio (%) de umidade no queijo e RP: coeficiente de retenção de proteína no queijo

A função objetivo do modelo é maximizar a MCT diária do laticínio em cada cenário somando os produtos das multiplicações das variáveis de decisão (produtos “i”) pelas respectivas margens de contribuição unitárias (MCU), segundo a seguinte equação:

$$MCT_j = \sum_{i=1}^{10} (X_{ij} * MCU_{ij}), j = 1, 2 \quad (10)$$

onde  $MCT_j$  = margem de contribuição diária total (R\$) do cenário “j”,  $X_{ij}$  = quantidade (kg) ou volume (L) da variável de decisão (produto lácteo) “i” do cenário “j” e  $MCU_{ij}$  = margem de contribuição unitária (R\$) da variável de decisão “i” do cenário “j”. A margem de contribuição unitária é a diferença entre preço de venda e custo direto unitário de cada produto. O C40 possuía MCU de R\$ 1,99. Os custos do leite cru, juros, impostos, depreciações e amortizações não foram considerados.

### 2.2.3 Restrições

Em ambos os cenários foram calculadas as quantidades (kg) médias diárias disponíveis de gordura, proteína e caseína em função dos volumes (L) e dos teores (%) médios diários dos componentes dos tipos 1 e 50 de leite cru Tabela 4, segundo as seguintes equações:

$$P_{Lj} = V_{Lj} * \%P_{Lj} * 1,03/100 \quad (11)$$

$$C_{Lj} = V_{Lj} * \%C_{Lj} * 1,03/100 \quad (12)$$

$$G_{Lj} = V_{Lj} * \%G_{Lj} * 1,03/100 \quad (13)$$



onde  $P_{Lj}$  = quantidade (kg) de proteína do leite cru do cenário 'j',  $V_{Lj}$  = volume (L) de leite cru captado no cenário 'j',  $\%P_{Lj}$  = teor (%) de proteína do leite cru no cenário 'j',  $1,03$  = densidade do leite cru (kg/L),  $C_{Lj}$  = quantidade (kg) de caseína do leite cru do cenário 'j',  $\%C_{Lj}$  = teor (%) de caseína do leite cru no cenário 'j',  $G_{Lj}$  = quantidade (kg) de gordura do leite cru do cenário 'j' e  $\%G_{Lj}$  = teor (%) de gordura do leite cru no cenário 'j'.

O volume de soro gerado na produção de cada tipo de queijo 'i' foi determinado em ambos os cenários 'j' pela seguinte equação:

$$V_{SQij} = (1,03 * V_{LC50Qij} * Q_{ij} - Q_{ij}) / 1,025 \quad (14)$$

onde  $V_{SQij}$  = volume (L) de soro gerado por quantidade (kg) de queijo 'i' produzido no cenário 'j',  $1,03$  = densidade média (kg/L) do leite cru,  $V_{LC50Qij}$  = volume (L) de LC50 necessário por kg de queijo 'i' (L/kg) no cenário 'j',  $Q_{ij}$  = quantidade (kg) de queijo 'i' produzida no cenário 'j' e  $1,025$  = densidade média (kg/L) do soro. A soma dos  $V_{SQij}$  corresponde ao volume total (L) de soro dos queijos 'i' disponível para produção de ricota no cenário 'j'.

As quantidades (kg) disponíveis de gordura e proteína do soro foram calculadas em função dos volumes (L) e das composições médias (%) do soro (TEIXEIRA; FONSECA, 2008), segundo as seguintes equações:

$$KP_{Sj} = \Sigma V_{SQij} * 0,82 * 1,025 / 100 \quad (15)$$

$$KG_{Sj} = \Sigma V_{SQij} * 0,725 * 1,025 / 100 \quad (16)$$

onde  $KP_{Sj}$  = quantidade (kg) de proteína do soro do cenário 'j',  $\Sigma V_{SQij}$  = soma dos volumes (L) de soro da produção dos queijos 'i' no cenário 'j',  $0,82$  = teor médio (%) de proteína do soro,  $1,025$  = densidade (kg/L) do soro,  $KG_{Sj}$  = quantidade (kg) de gordura do soro no cenário 'j' e  $0,725$  = teor médio (%) de gordura do soro.

Além das restrições de matérias-primas da Tabela 7 (componentes do leite), a solução ótima do mix de produtos lácteos para maximização da MCT deveria respeitar as restrições de demanda de produtos e de tempo disponível de equipamentos e mão de obra. O laticínio possuía seis funcionários. Cada um trabalhava 6,29 horas diárias (44 horas semanais) totalizando 37,71 horas-homem diárias. O tempo disponível de utilização diária de cada equipamento correspondia à jornada de trabalho de 6,29 horas. O laticínio deveria produzir diariamente pelo menos 180 L de LB e 240 L de LR.

Tabela 7– Restrições médias de volumes e componentes dos dois tipos de leite cru captados pelo laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011

	Janeiro		Julho	
	Leite cru 1 <sup>1</sup>	Leite cru 50 <sup>2</sup>	Leite cru 1 <sup>1</sup>	Leite cru 50 <sup>2</sup>
Gordura, kg	40,71	263,42	43,84	152,17
Proteína, kg	40,83	269,87	39,45	141,50
Caseína, kg	31,87	211,40	30,65	108,56

Fonte: elaborado pelo autor conforme dados do laticínio e da Clínica do Leite, ESALQ, USP

<sup>1</sup>Leite cru destinado à produção de leite pasteurizado tipo B padronizado em 3% de gordura

<sup>2</sup>Leite cru destinado à produção dos demais produtos lácteos do laticínio

### 2.3 Resultados e discussão

As soluções ótimas, apresentadas na Tabela 8 junto com os mixes reais, foram obtidas para os modelos processados sob as restrições de ambos os cenários. Em Janeiro, observam-se grandes diferenças entre os mixes ótimo e real. No mix real, o leite cru foi destinado ao processamento de seis produtos lácteos (LB, LR, MC, MF, RC e C40), enquanto que no mix ótimo, apenas quatro produtos (LB, LR, MF e C40) seriam processados. As diferenças entre as participações desses produtos nos mixes ótimo e real variaram de 5,43 a 3636,85 kg (0,13 a 11,69 pontos percentuais). Apenas os queijos MP, MB, PB e PT não participaram de ambos os mixes.

Como era esperado, a MCT ótima, representada na Tabela 8 como a soma total das margens de contribuição dos produtos lácteos, foi R\$ 3823,43 (38,33%) maior que a MCT real. Esse incremento foi possível devido ao uso do modelo que possibilitou a otimização do uso dos componentes do leite cru e recursos do laticínio, sem a necessidade de custos adicionais com matéria prima.

Em Julho, também houve diferenças entre os mixes ótimo e real. No mix ótimo de Julho, os mesmos quatro produtos do mix ótimo de Janeiro seriam processados. Já no mix real de Julho, todos os 10 produtos lácteos do laticínio foram fabricados. As participações dos leites LB e LR foram muito semelhantes entre os mixes ótimo e real, tanto em termos absolutos quanto em termos relativos. Por isso, as diferenças entre as margens de contribuição desses produtos foram pequenas (R\$ 62,67 e R\$ 14,87 para LB e LR, respectivamente). As maiores diferenças ocorreram nas participações dos queijos entre os mixes ótimo e real.

Tabela 8 – Combinações e margens de contribuição ótimas e reais dos mixes de produtos lácteos produzidos nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011

	Janeiro										Total
	LB*	LR*	MP*	MC*	MB*	MF*	PB*	PT*	RC*	C40*	
Mix ótimo, L ou kg	1180,37	6601,82	0,00	0,00	0,00	251,60	0,00	0,00	0,00	30,10	8063,88
Mix real, L ou kg	711,55	2964,97	0,00	415,69	0,00	71,58	0,00	0,00	5,43	55,74	4224,97
Mix ótimo, %	14,64	81,87	0,00	0,00	0,00	3,12	0,00	0,00	0,00	0,37	100,00
Mix real, %	16,84	70,18	0,00	9,84	0,00	1,69	0,00	0,00	0,13	1,32	100,00
MCT <sup>1</sup> ótima, R\$	1834,56	9600,52	0,00	0,00	0,00	2302,98	0,00	0,00	0,00	59,89	13797,96
MCT <sup>1</sup> real, R\$	1105,91	4311,73	0,00	3768,65	0,00	655,20	0,00	0,00	22,12	110,93	9974,53
	Julho										
Mix ótimo, L ou kg	1094,64	2710,80	0,00	0,00	0,00	251,60	0,00	0,00	0,00	66,11	4123,15
Mix real, L ou kg	1054,32	2721,03	30,61	84,77	0,32	34,25	1,01	1,00	9,36	55,74	3992,43
Mix ótimo, %	26,55	65,78	0,00	0,00	0,00	6,10	0,00	0,00	0,00	1,60	100,00
Mix real, %	26,41	68,15	0,77	2,12	0,01	0,86	0,03	0,03	0,23	1,40	100,00
MCT <sup>1</sup> ótima, R\$	1701,32	3942,12	0,00	0,00	0,00	2302,98	0,00	0,00	0,00	131,55	8077,97
MCT <sup>1</sup> real, R\$	1638,65	3956,99	330,01	768,56	3,88	313,52	12,89	13,37	38,11	110,93	7186,90

Fonte: elaborado pelo autor conforme dados do laticínio e da Clínica do Leite, ESALQ, USP

\*LB: leite pasteurizado padronizado tipo B, LR: leite pasteurizado padronizado resfriado, MP: queijo Minas Padrão, MC: queijo Mussarela Comum, MB: queijo Mussarela Bola, MF: queijo Minas Frescal, PB: queijo Provolone Bola, PT: queijo Provolone Temperado, RC: queijo Ricota e C40: creme de leite com 40% de gordura da padronização do LB e LR, <sup>1</sup>Margem de contribuição total

Assim como em Janeiro, em Julho a MCT ótima foi R\$ 891,07 (12,4%) maior que a MCT real devido à alocação otimizada dos componentes do leite cru e recursos do laticínio definida pelo modelo, sem a necessidade de custos adicionais com matéria prima. As margens de contribuição total em ambos os mixes foram maiores em Janeiro devido à maior disponibilidade de componentes dos dois tipos de leite cru para processar em produtos lácteos neste período, evidenciando a importância da quantidade e qualidade do leite cru para as margens de contribuição dos laticínios.

Em ambos os cenários, as quantidades produzidas de MF nos mixes ótimos foram as mesmas. Porém, sua participação relativa no mix ótimo de Julho foi maior do que no mix ótimo de Janeiro devido ao menor volume de LC50 disponível em Julho.

Em relação aos leites LB e LR, os volumes processados indicados na solução ótima foram maiores em Janeiro devido à maior disponibilidade de LC1 e LC50 neste período, respectivamente. Em função dessa diferença de disponibilidade de LC50 para processamento de LR e de queijos, a participação relativa de LR no mix ótimo de Julho foi menor que a de Janeiro. Em contrapartida, a participação do LB no mix ótimo de Julho foi maior que a de Janeiro, pois houve pouca diferença de oferta de LC1 para produzir LB entre ambos os meses. Portanto, a produção de LB diminuiu pouco em relação à de LR.

Apesar do mix ótimo de Janeiro ter indicado maior produção de LB e LR, a geração de creme foi maior em Julho devido ao maior teor de gordura em ambos os tipos de leite cru neste cenário. Curiosamente, a geração de creme no mix real de ambos os meses foi idêntica. Consequentemente, a participação relativa de creme em ambos os mixes aumentou em Julho.

Analisando as margens de contribuição unitárias dos produtos dos mixes ótimos de ambos os cenários, observa-se que os quatro produtos de maiores margens unitárias (PT, PB, MB e MP), além de MC e RC, não foram indicados pela solução ótima como participantes dos mixes. Isso é explicado pelo resultado da divisão da MCU pela quantidade necessária de matéria prima (leite cru e seus componentes) para o processamento de um L ou kg de cada produto, apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Relação entre as margens de contribuição unitárias e as quantidades necessárias de matérias primas (leite cru e seus componentes) dos produtos lácteos nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011

Janeiro									
Recursos	LB	LR	MP	MC	MB	MF	PB	PT	RC
Leite cru, R\$/L	1,54	1,45	1,33	1,02	1,35	1,49	1,12	1,17	1,04
Proteína, R\$/kg	45,67	44,08	40,36	30,93	40,99	45,38	34,02	35,55	31,66
Caseína, R\$/kg	58,51	56,28	51,53	39,48	52,33	57,93	43,43	45,38	40,41
Gordura, R\$/kg	51,81	48,47	41,35	31,69	42,00	46,49	34,85	36,42	32,43
Julho									
Leite cru, R\$/L	1,52	1,43	1,43	1,10	1,46	1,61	1,21	1,26	1,13
Proteína, R\$/kg	43,31	42,25	42,30	32,42	42,97	47,39	35,59	37,19	33,22
Caseína, R\$/kg	55,73	55,07	55,14	42,25	56,00	61,77	46,39	48,48	43,30
Gordura, R\$/kg	51,81	48,47	39,34	30,14	39,95	44,07	33,10	34,59	30,89

Fonte: elaborado pelo autor conforme dados do laticínio e da Clínica do Leite, ESALQ, USP

Apesar das margens de contribuição unitárias dos quatro produtos participantes dos mixes ótimos de ambos os cenários estarem dentre as seis menores da linha de produtos do laticínio, esses produtos, com exceção do C40 que não está na Tabela 9, apresentaram as maiores margens de contribuição unitárias por unidade de matéria prima (R\$/L ou R\$/kg) em ambos os cenários. Logo, deve-se priorizar a fabricação e comercialização de produtos com maior MCU por fator limitante (MIRANDA; MARTINS; DE FARIA, 2007), pois assim otimiza-se o aproveitamento da matéria prima crítica limitante. Isso significa que, didaticamente, produzir maior quantidade de produto com menor MCU pode ser mais lucrativo que produzir outro produto de maior margem de contribuição em menor quantidade. Portanto, a relação entre MCU e quantidade necessária de matéria prima por unidade de produto foi determinante na definição dos mixes ótimos.

As margens de contribuição unitárias por unidade de matérias primas foram maiores para a linha de queijos em Julho devido a menor quantidade necessária de matéria prima para processar uma unidade de produto lácteo. Já para os leites LB e LR ocorreu o contrário, pois ambos os tipos de leite cru possuíam maiores teores de componentes sólidos, inclusive gordura, em Julho do que em Janeiro. Por isso, a perda de leite cru na padronização da gordura dos leites LB e LR em Julho foi maior.

O leite LB seria incluído nos mixes ótimos independentemente da relação entre MCU e necessidade de matéria prima, pois não compete com nenhum outro produto lácteo. Sua matéria prima, o leite cru proveniente de apenas um fornecedor, é exclusivamente destinada ao seu processamento. Já os demais produtos lácteos são processados com leite cru

de outros 50 fornecedores do laticínio. Portanto, há competição desses produtos por matéria prima para participarem dos mixes.

Nos mixes ótimos de ambos os cenários, o leite LR participou somente devido à restrição de produção do queijo MF pela embaladora, pois este produto teve preferência de participação nos mixes devido a sua maior MCU por quantidade de matéria prima necessária. A embaladora foi um recurso limitante atuante ( $251,60 \text{ kg} * 1,5 \text{ minutos} / 60 \text{ minutos} = 6,29$  horas) na produção do queijo MF nos mixes ótimos. Por isso, as quantidades de MF indicadas em ambos os mixes foram as mesmas. Os cremes C40 foram incluídos nos mixes por serem produtos intermediários da padronização dos leites pasteurizados LB e LR.

## 2.4 Conclusões

O modelo testado de otimização baseado em programação linear possibilita a maximização da MCT de laticínios através do melhor planejamento da produção do mix de produtos.

A relação entre MCU e quantidade necessária de matéria prima por unidade de produto e a disponibilidade de recursos são determinantes na definição do mix de produtos lácteos e da MCT do laticínio.

## Referências

ADONYI, R.; SHOPOVA, E.; VAKLIEVA-BANCHEVA, N. Optimal schedule of a dairy manufactory. **Chemical and Biochemical Engineering Quarterly**, Zagreb, v. 23, n. 2, p. 231-237, 2009. Disponível em: <[http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id\\_clanak\\_jezik=60242](http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=60242)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

AIDOO, H.; SAKYI-DAWSON, E.; ABBEY, L.; TANO-DEBRAH, K.; SAALIA, F.K. = Optimisation of chocolate formulation using dehydrated peanut-cowpea milk to replace dairy milk. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, New Jersey, v. 92, n. 2, p. 224-231, Jan. 2012. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.4563/pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

ALMEIDA JÚNIOR, J.F.D. **Planejamento da produção na indústria de laticínios**: práticas atuais e desenvolvimento de um protótipo de sistema de apoio à decisão. 2004. 107 p. (Magister Scientiae em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

ALMEIDA JÚNIOR, J.F.D.; DA SILVA, C.A.B. Um sistema de apoio à decisão em planilha eletrônica para o planejamento da produção na indústria de laticínios. **Revista Brasileira de**

**Agroinformática**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 15, 2005. Disponível em: <<http://www.sbiagro.org.br/pdf/revista/rbiagro-v7n2-artigo2.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2013.

ANDREATTA, E.; DOS SANTOS, M.V.; MUSSARELLI, C.; MARQUES, M.C.; GIGANTE, M.L. Quality of minas frescal cheese prepared from milk with different somatic cell counts. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 320-326, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n3/v44n3a14.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2013.

AQUINO, A.A.; PEIXOTO JUNIOR, K.D.C.; GIGANTE, M.L.; RENNÓ, F.P.; PRADA E SILVA, L.F.; SANTOS, M.V.D. Efeito de níveis crescentes de uréia na dieta de vacas leiteiras sobre a composição e rendimento de fabricação de queijos minas frescal. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v. 46, n. 4, p. 7, 2009. Disponível em: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=lnk&expSearch=536845&indexSearch=ID>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

BARBOSA, J.B.; TALMA, S.V.; BATISTA, C.S.; MARTINS, M.L.; PINTO, C.L.D.O. Avaliação de rendimento da produção dos queijos Minas Frescal, Minas Padrão e Mussarela fabricados com leite inoculado com *Pseudomonas Fluorescens*. **Revista do Instituto de Laticínios "Cândido Tostes"**, Juiz de Fora, v. 64, n. 371, p. 8, 2009. Disponível em: <[http://www.revistadoilct.com.br/detalhe\\_artigo.asp?id=370](http://www.revistadoilct.com.br/detalhe_artigo.asp?id=370)>. Acesso em: 15 jan. 2013.

BREEN, J.P. **A new direction for the payment of milk:** technological and seasonality considerations in multiple component milk pricing (liquid and manufacturing) for a diversifying dairy industry. 2001. 188 p. Thesis (Master of Science in Agricultural Science) - Department of Agribusiness, Extension and Rural Development, University College of Dublin, Dublin, 2001.

CAIXETA-FILHO, J.V. **Pesquisa operacional:** técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 176 p.

CANZIANI, J.R.; GUIMARÃES, V.D.A. **Manual de instruções do Conseleite - Paraná**. Curitiba: SENAR – PR, Centro de Documentação, Informações Técnicas e Biblioteca, 2003. 110 p.

CRAIG, K.L.; NORBACK, J.P.; JOHNSON, M.E. A Linear programming model integrating resource allocation and product acceptability for processed cheese products. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 72, n. 11, p. 3098-3108, 1989. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030289794649>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

DOGANIS, P.; SARIMVEIS, H. Optimal scheduling in a yogurt production line based on mixed integer linear programming. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 80, n. 2, p. 445-453, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877406004523#>>. Acesso em 21 nov. 2013.

\_\_\_\_\_. Optimal production scheduling for the dairy industry. **Annals of Operations Research**, Dordrecht, v. 159, n. 1, p. 315-331, 2008. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10479-007-0285-y>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

DOGANIS, P.; SARIMVEIS, H.; ALEXANDRIDIS, A.; PATRINOS, P. Optimal production scheduling for dairy industries. In: MULTIDISCIPLINARY INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCHEDULING: THEORY AND APPLICATIONS, 2., 2005, New York. **Proceedings...** New York, 2005. v. 1, p. 324-325. Disponível em: <<http://www.mistaconference.org/2005/papers/Optimal%20Production%20Scheduling%20for%20Dairy%20Industries.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

ESPER, L.M.R.; BONETS, P.A.; KUAYE, A.Y. Avaliação das características físico-químicas de ricotas comercializadas no município de Campinas-SP e da conformidade das informações nutricionais declaradas nos rótulos. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 3, n. 66, p. 6, 2007.

GEARY, U.; LOPEZ-VILLALOBOS, N.; GARRICK, D. J.; SHALLOO, L. An analysis of the implications of a change to the seasonal milk supply profile in the Irish dairy industry utilizing a seasonal processing sector model. **The Journal of Agricultural Science**, New York, v. 150, n. 3, p. 389-407, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1017/S0021859612000020>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

\_\_\_\_\_. Development and application of a processing model for the Irish dairy industry. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 93, n. 11, p. 5091-5100, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030210005497>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

GEARY, U.; SHALLOO, L.; LOPEZ, N. Development of a dairy processing sector model for the Irish dairy industry. **Advances in Animal Biosciences**, Cambridge, v. 1, n. 1, p. 335-335, 2010. Disponível em: <<http://journals.cambridge.org/action/displayFulltext?type=1&fid=7927943&jid=ABS&volumeId=1&issueId=01&aid=7927942>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

GUAN, Z.; PHILPOTT, A. A multistage stochastic programming model for the New Zealand dairy industry. **International Journal of Production Economics**, Amsterdam, v. 134, n. 2, p. 289-299, 2011.

IBARRA, A.; ACHA, R.; CALLEJA, M.T.; CHIRALT-BOIX, A.; WITTIG, E. Optimization and shelf life of a low-lactose yogurt with *Lactobacillus rhamnosus* HN001. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 95, n. 7, p. 3536-3548, July 2012. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000305363100006 >. Acesso em: 21 nov. 2013.

JOHNSON, H.; PARVIN, L.; GARNETT, I.; DEPETERS, E.; MEDRANO, J.; FADEL, J. Valuation of milk composition and genotype in cheddar cheese production using an optimization model of cheese and whey production. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 90, n. 2, p. 616-629, 2007. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030207715448?showall=true>>. Acesso em: 21 nov. 2013.



KERRIGAN, G.L.; NORBACK, J.P. Linear-programming in the allocation of milk resources for cheese making. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 69, n. 5, p. 1432-1440, May 1986. ISSN 0022-0302. Disponível em: <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(86\)80552-5/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(86)80552-5/abstract)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

KOPANOS, G.M.; PUIGJANER, L.; GEORGIADIS, M.C. Optimal production scheduling and lot-sizing in yoghurt production lines. **Computer Aided Chemical Engineering**: Elsevier, Oxford, v. 28, p. 1153-1158, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570794610281932>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

MCCARL, B.A.; MEERAUS, A.; VAN DER EIJK, P.; BUSSIECK, M.; DIRKSE, S.; STEACY, P.; NELISSEN, F. **McCarl GAMS user guide**. GAMS Development Corporation, College Station, 2013. 872 p.

MIRANDA, G.J.; MARTINS, V.F.; DE FARIA, A.F. O uso da programação linear num contexto de laticínios com várias restrições na capacidade produtiva. **Custos e Agronegócio Online**, Recife, v. 3, p. 19, 2007. Disponível em: <[www.custoseagronegocioonline.com.br](http://www.custoseagronegocioonline.com.br)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

MODLER, H.W. Development of a continuous process for the production of ricotta cheese. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 71, n. 8, p. 2003-2009, 1988. Disponível em: <<http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030288797751.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

MOREIRA, D.A. **Pesquisa operacional**: curso introdutório. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 356 p.

PAPADATOS, A.; BERGER, A.; PRATT, J.; BARBANO, D. A nonlinear programming optimization model to maximize net revenue in cheese manufacture. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 85, n. 11, p. 2768-2785, 2002. Disponível em: <<http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030202743646.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

ROUPAS, P. Predictive modelling of dairy manufacturing processes. **International Dairy Journal**, Oxford, v. 18, n. 7, p. 741-753, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694608000472>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

SILVA, I.C.V.D.; REIS, R.P.; GOMES, M.J.N. Custos e otimização de rotas no transporte de leite a latão e a granel: um estudo de caso. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 8, 2000. Disponível em: <<http://revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/viewArticle/289>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

STEPHANI, R.; PERRONE, Í.T. Balanço de massa aplicado a tecnologia de produção do leite condensado: considerações técnicas. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 67, n. 387, p. 8, 2012. Disponível em: <[http://www.revistadoilct.com.br/detalhe\\_artigo.asp?id=523](http://www.revistadoilct.com.br/detalhe_artigo.asp?id=523)>. Acesso em: 15 jan. 2013.

TEIXEIRA, L.V.; FONSECA, L.M. Perfil físico-químico do soro de queijos mozzarella e minas-padrão produzidos em várias regiões do estado de Minas Gerais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 60, n. 1, p. 8, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abmvz/v60n1/a33v60n1.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

VAKLIEVA-BANCHEVA, N.; ESPUÑA, A.; SHOPOVA, E.; PUIGJANER, L.; IVANOV, B. Multi-objective optimization of dairy supply chain. **Computer Aided Chemical Engineering**, Oxford, v. 24, p. 781-786, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1570794607801532>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

WOUDA, F.H.E.; VAN BEEK, P.; VAN DER VORST, J.G.A.J.; TACKE, H. An application of mixed-integer linear programming models on the redesign of the supply network of Nutricia Dairy & Drinks Group in Hungary. **OR Spectrum**, New York, v. 24, n. 4, p. 449-465, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s002910200112>>. Acesso em 21 nov. 2013.

YATES, C.M.; REHMAN, T. A linear programming formulation of the Markovian decision process approach to modelling the dairy replacement problem. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 185-201, Oct. 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X98000547>>. Acesso em 21 nov. 2013.



### 3 QUANTO VALE O LEITE CRU E SEUS COMPONENTES PARA OS LATICÍNIOS?

#### Resumo

A forma atual de precificar o leite cru no Brasil desestimula o produtor a melhorar sua qualidade, pois valoriza mais seu volume do que seus componentes sólidos. A composição do leite cru é muito importante para os laticínios, pois ela afeta diretamente o rendimento de produção e a qualidade dos produtos lácteos. Em razão disso, foi desenvolvido em programação linear um modelo para precificação do leite cru e maximização da margem de contribuição de um laticínio do Sudeste do Brasil em cenários diários de alta (Janeiro) e baixa (Julho) disponibilidade de matérias primas. Foram realizadas análises de sensibilidade dos componentes nutritivos de dois tipos de leite cru de diferentes composições (LC1 e LC50) para determinar seus preços-sombra. Foram observados preços-sombra para o quilograma da caseína em Janeiro e em Julho para o litro do LC50 em Julho. A margem de contribuição total (MCT) ótima e os preços calculados de ambos os tipos de leite cru foram maiores em Janeiro. Em ambos os cenários, os preços calculados de ambos os tipos de leite cru foram maiores que os praticados pelo laticínio e o lucro antes de juros, impostos, depreciação e amortização (LAJIDA) diário real foi maior que o ótimo. Conclui-se que o laticínio pode maximizar seu LAJIDA remunerando melhor seus fornecedores em função da qualidade do leite cru e planejando melhor seu mix de produtos. A precificação do leite cru pelo modelo proposto remunera o produtor em função da quantidade de seus componentes.

Palavras-chave: Programação linear; Otimização; Pesquisa operacional; Preço-sombra; Pagamento do leite; Qualidade do leite; Proteína do leite; Gordura do leite; Caseína; Produtos lácteos; Queijo

#### Abstract

The current pricing process of raw milk in Brazil discourages the producer from improving milk quality, because prices value more milk volume than its solid components. Raw milk composition is very important for dairies as it directly affects production yield and quality of dairy products. Therefore, a model for pricing raw milk and maximizing the unit contribution margin of dairies was developed in linear programming and tested using data from a dairy in the southeastern Brazil in daily scenarios of high (January) and low (July) availability of raw material. We conducted sensitivity analyses of nutritious components from two raw milk types of different compositions (RM1 and RM50) to determine their shadow prices. Shadow prices were observed for the kilogram of casein in January and July for the liter of RM50 in July. The optimal total contribution margin and prices calculated in both raw milk types were higher in January. In both scenarios, the calculated prices of both raw milk types were higher than the prices practiced by the dairy and the actual daily earnings before interests, taxes, depreciation and amortization (EBITDA) was higher that of the optimal prices. The dairy can maximize its EBITDA remunerating better its suppliers depending on raw milk quality and better planning its product mix. Raw milk pricing in the proposed model remunerates the producer based on the quantity of milk components.

Keywords: Linear programming; Optimization; Operations research; Shadow price; Milk payment; Milk quality; Milk protein; Milk fat; Casein; Dairy products; Cheese

### 3.1 Introdução

O leite cru é a principal matéria prima da indústria leiteira. A qualidade do leite cru afeta o rendimento industrial, o processamento do leite, a qualidade dos produtos lácteos (aceitabilidade pelo consumidor, prazo de vencimento, características organolépticas e o valor dos produtos lácteos) e a rentabilidade dos produtores e dos laticínios. A mastite, inflamação da glândula mamária provocada geralmente por infecção microbiana, é a principal causa da queda da qualidade do leite cru em rebanhos leiteiros. Além da redução da produção de leite cru, a mastite provoca diminuição da concentração de substâncias desejáveis para o laticínio (lactose, gordura, caseína, sólidos não gordurosos e íons Ca, P e K) (BLOWEY; EDMONDSON, 2010).

Algumas indústrias leiteiras praticam atualmente sistemas de remuneração ao produtor com premiações e penalidades sobre o preço do litro (L) do leite cru em função de alguns critérios de qualidade, como Contagem Bacteriana Total (CBT), Contagem de Células Somáticas (CCS), teores de proteína e de gordura, como incentivo para sua melhoria (ROMA et al., 2009). O Conseleite – PR, a exemplo do Consecana – SP que desenvolveu um sistema de pagamento da cana em função da quantidade de açúcares totais reduzidos (ATR), elaborou um sistema de cálculo do preço de referência do L do leite cru em função dos derivados lácteos comercializados, do rendimento industrial do leite na fabricação dos derivados, da participação do custo da matéria prima no custo total de produção dos derivados e dos preços médios de comercialização dos produtos praticados pelas indústrias participantes do Conselho (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003).

No entanto, esses programas de pagamento não têm elevado os teores de proteína e gordura do leite cru fornecido para os laticínios (BOTARO; GAMEIRO; SANTOS, 2013). Esses tipos de remuneração não incentivam o produtor de leite cru a investir em tecnologias que melhorem sua qualidade, pois valorizam mais seu volume do que seus componentes sólidos. Adicionalmente, indústrias beneficiadoras de leite que dependem dos seus componentes sólidos para aumentar a produção e o rendimento de produtos lácteos, como queijos, manteiga, e leite em pó, são prejudicadas com essas formas de pagamento, pois pagam pela água, um componente do leite que não lhes interessam. É mais vantajoso para os laticínios remunerar o fornecedor de leite cru pela matéria prima que melhore a eficiência e o rendimento de produção. Um modelo capaz de informar decisões estratégicas e estratégias de

precificação do leite seria útil na determinação do ‘mix’ ótimo de produtos lácteos e do perfil de suprimento de leite cru (GEARY et al., 2010).

Apesar do Conseleite - PR ser um sistema que proponha maior transparência e equilíbrio na negociação entre produtores e indústrias, ainda apresenta desvantagem por incluir o volume de leite entregue à indústria e o custo médio ponderado de produção da matéria prima nas fazendas leiteiras em suas fórmulas matemáticas de cálculo do preço de referência. O volume, como citado anteriormente, não incentiva a melhoria da qualidade e o cálculo do custo médio de produção do leite representa um banco de dados a mais a ser atualizado continuamente diminuindo a praticidade do sistema.

Por essas razões, é desejável o desenvolvimento de um novo sistema de precificação que determine o valor de cada componente do leite cru de interesse para a indústria sem incluir o custo médio ponderado de produção da matéria prima. Assim, os produtores serão corretamente remunerados, as indústrias otimizarão o uso de matérias primas e o consumidor será beneficiado com produtos de melhor qualidade sem custos adicionais para o laticínio.

Em razão dessas carências, objetivou-se desenvolver um modelo de precificação do leite cru em função de sua qualidade utilizando os preços-sombra ou custos de oportunidade do quilograma (kg) de seus componentes sólidos (proteína, caseína e gordura) através da definição do ‘mix’ (combinação das quantidades de produtos) ótimo a ser processado pelo laticínio para maximização da MCT utilizando a programação linear, técnica de otimização da pesquisa operacional.

### **3.2 Material e métodos**

Um modelo de precificação do leite cru baseado em PL foi desenvolvido e testado utilizando dados de um pequeno laticínio da região de Piracicaba, São Paulo, Brasil. O laticínio forneceu dados técnicos e econômicos, enquanto que dados de composição do leite cru comprado pela usina foram fornecidos pela Clínica do Leite, Laboratório do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), localizada em Piracicaba, São Paulo, Brasil. Os dados foram organizados em planilhas do programa computacional Microsoft Excel 2007 para cálculo dos coeficientes técnicos e econômicos. Esses coeficientes foram utilizados na elaboração de um modelo matemático para planejamento da programação do ‘mix’ ótimo

(combinação ideal de quantidades de produtos lácteos ‘i’) para maximização da MCT diária do laticínio sob restrições de dois cenários. O modelo foi processado no programa computacional GAMS 24.0 (General Algebraic Modeling System 24.0) utilizando o solver Cplex versão 12.5.0.0 (MCCARL et al., 2013) em ambos os cenários. Adicionalmente, foi realizada análise de sensibilidade dos recursos do laticínio para determinação dos preços-sombra de cada recurso limitante da MCT. Posteriormente, os preços-sombra dos componentes do leite cru limitantes da MCT foram utilizados em uma fórmula para determinação do preço máximo do L do leite cru que o laticínio poderia pagar aos seus fornecedores (Figura 4).

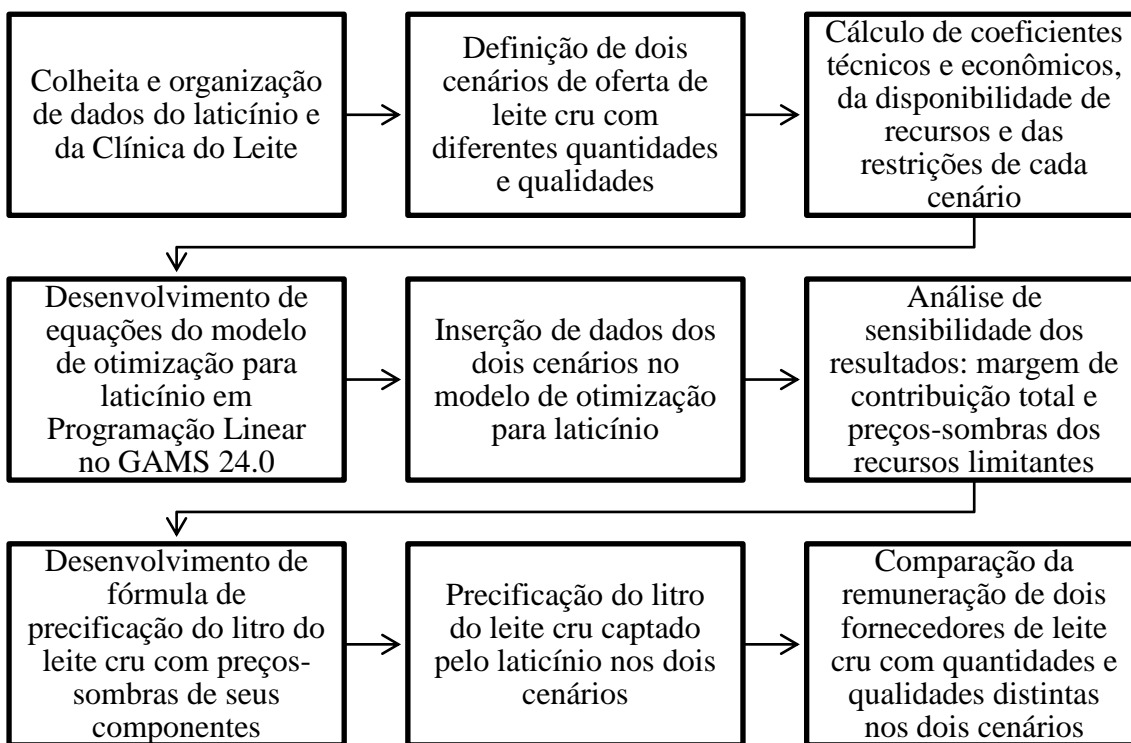


Figura 4 – Fluxograma resumido de processos adotados na metodologia da pesquisa

### 3.2.1 Cenários

Foram definidos dois cenários diários ‘j’ correspondentes aos meses de Janeiro e Julho de 2011, simulando os períodos de safra e entressafra da produção do leite cru em que há maiores e menores captações médias diárias com diferentes composições médias (%), respectivamente (Tabela 10).

Tabela 10 – Volumes em litro (L) e teores médios dos componentes dos dois tipos de leite cru captados pelo laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011

	Janeiro		Julho	
	Leite cru 1 <sup>1</sup>	Leite cru 50 <sup>2</sup>	Leite cru 1 <sup>1</sup>	Leite cru 50 <sup>2</sup>
Volume, L	1208,55	8206,51	1123,07	4172,03
Gordura, %	3,27	3,12	3,79	3,54
Proteína, %	3,28	3,19	3,41	3,29
Caseína, %	2,56	2,50	2,65	2,53

Fonte: elaborado pelo autor conforme dados do laticínio e da Clínica do Leite, ESALQ, USP

<sup>1</sup>Leite cru destinado à produção de leite pasteurizado tipo B padronizado em 3% de gordura

<sup>2</sup>Leite cru destinado à produção dos demais produtos lácteos

### 3.2.2 Variáveis de decisão e equações

O laticínio produzia e comercializava 10 produtos lácteos ‘i’, sendo leite fluído pasteurizado tipo B padronizado com 3% de gordura (LB) e leite fluído pasteurizado resfriado padronizado com 3% de gordura (LR), sete tipos de queijo (Minas Padrão (MP), Mussarela Comum (MC), Mussarela Bola (MB), Minas Frescal (MF), Provolone Bola (PB), Provolone Temperado (PT) e Ricota (RC)) e creme de leite com 40% de gordura (C40) proveniente da padronização do LB e do LR. O leite cru destinado à produção do LB (LC1) era fornecido diariamente por apenas um produtor enquanto que aproximadamente 50 produtores forneciam o leite cru para processamento dos demais produtos (LC50).

Para cada unidade de produto lácteo foram calculados seus respectivos coeficientes técnicos e econômicos: volumes de leite cru e soro em L, quantidades de proteína, caseína e gordura do leite em kg, quantidades de proteína e gordura do soro em kg, tempo de utilização de equipamentos (pasteurizador, padronizadora, ensacadora de leite fluído pasteurizado e embaladora de queijos) e de mão de obra em horas (h), custos diretos, margens de contribuição unitárias (MCU) e custos indiretos (Tabela 11).



Tabela 11 – Coeficientes de utilização de recursos por unidade (L ou kg) de produto lácteo nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011

Janeiro									
Recursos	LB*	LR*	MP*	MC*	MB*	MF*	PB*	PT*	RC*
Leite cru, L	1,01	1,00	8,12	8,91	8,91	6,13	11,43	11,43	3,91
Proteína, kg	0,034	0,033	0,267	0,293	0,293	0,202	0,376	0,376	0,129
Caseína, kg	0,027	0,026	0,209	0,230	0,230	0,158	0,295	0,295	0,101
Gordura, kg	0,030	0,030	0,261	0,286	0,286	0,197	0,367	0,367	0,126
Soro, L	-	-	-	-	-	-	-	-	16,03
Proteína, kg	-	-	-	-	-	-	-	-	0,135
Gordura, kg	-	-	-	-	-	-	-	-	0,119
Pasteur. <sup>1</sup> , h	0,0002	0,0002	0,0018	0,0020	0,0020	0,0014	0,0025	0,0025	0,0009
Padron. <sup>2</sup> , h	0,0002	0,0002	-	-	-	-	-	-	-
Ensac. <sup>3</sup> , h	0,0004	0,0004	-	-	-	-	-	-	-
Embal. <sup>4</sup> , h	-	-	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
MDO <sup>5</sup> , h	0,0008	0,0008	0,0339	0,1128	0,1128	0,0290	0,1140	0,1140	0,0307
MCU <sup>6</sup> , R\$	1,55	1,45	10,78	9,07	12,02	9,15	12,79	13,37	4,07
Julho									
Recursos	LB*	LR*	MP*	MC*	MB*	MF*	PB*	PT*	RC*
Leite cru, L	1,02	1,01	7,51	8,25	8,25	5,70	10,60	10,60	3,61
Proteína, kg	0,036	0,034	0,255	0,280	0,280	0,193	0,359	0,359	0,123
Caseína, kg	0,028	0,026	0,196	0,215	0,215	0,148	0,276	0,276	0,094
Gordura, kg	0,030	0,030	0,274	0,301	0,301	0,208	0,386	0,386	0,132
Soro, L	-	-	-	-	-	-	-	-	16,03
Proteína, kg	-	-	-	-	-	-	-	-	0,135
Gordura, kg	-	-	-	-	-	-	-	-	0,119
Pasteur. <sup>1</sup> , h	0,0002	0,0002	0,0017	0,0018	0,0018	0,0013	0,0024	0,0024	0,0008
Padron. <sup>2</sup> , h	0,0002	0,0002	-	-	-	-	-	-	-
Ensac. <sup>3</sup> , h	0,0004	0,0004	-	-	-	-	-	-	-
Embal. <sup>4</sup> , h	-	-	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
MDO <sup>5</sup> , h	0,0008	0,0008	0,0332	0,1125	0,1125	0,0287	0,1136	0,1136	0,0305
MCU <sup>6</sup> , R\$	1,55	1,45	10,78	9,07	12,02	9,15	12,79	13,37	4,07

Fonte: elaborado pelo autor conforme dados do laticínio e da Clínica do Leite, ESALQ, USP

\*LB: leite pasteurizado padronizado tipo B, LR: leite pasteurizado padronizado resfriado, MP: queijo Minas Padrão, MC: queijo Mussarela Comum, MB: queijo Mussarela Bola, MF: queijo Minas Frescal, PB: queijo Provolone Bola, PT: queijo Provolone Temperado e RC: queijo Ricota, <sup>1</sup>Pasteurizadora, <sup>2</sup>Padronizadora, <sup>3</sup>Ensacadora, <sup>4</sup>Embaladora, <sup>5</sup>Mão de obra e <sup>6</sup>Margem de contribuição unitária

Os volumes de leite cru e de soro necessários para a produção unitária, em L ou kg, de cada produto ‘i’ foram calculados para determinação dos coeficientes técnicos da padronizadora, do pasteurizador, da ensacadora, da mão de obra e das exigências de proteína, caseína e gordura do leite cru e de proteína e gordura do soro por unidade de produto ‘i’ em ambos os cenários ‘j’. Os fluxos de processamento de leite do pasteurizador, da padronizadora e da ensacadora correspondiam a 4500, 6250 e 2500 L h<sup>-1</sup>, respectivamente. A embaladora embalava cada queijo ‘i’ em 1,5 minutos. O tempo utilizado de mão de obra por produto lácteo ‘i’ foi calculado em função dos tempos utilizados por equipamento e de preparo dos produtos. O volume de leite cru necessário para cada L ou kg de produto lácteo “i” difere entre os cenários devido à diferença na composição do leite cru de cada cenário.

O volume de leite cru necessário e a quantidade de C40 gerado por L de leite pasteurizado padronizado tipo B e tipo resfriado foram determinados através do Quadrado de Pearson Subtrativo (STEPHANI; PERRONE, 2012):

$$Q_{C40Bj} = 1,03 * V_{LBj} * [(40-3)-(40-G_{1j})]/(40-G_{1j}) \quad (17)$$

$$V_{LC1j} = (40-3)/(40-G_{1j}) \quad (18)$$

$$Q_{C40Rj} = 1,03 * V_{LRj} * [(40-3)-(40-G_{50j})]/(40-G_{50j}) \quad (19)$$

$$V_{LC50j} = (40-3)/(40-G_{50j}) \quad (20)$$

onde  $Q_{C40Bj}$  = quantidade (kg) de creme com 40% de gordura gerado pela padronização do leite pasteurizado padronizado tipo B no cenário “j”, 1,03 = densidade média (kg/L) do leite cru,  $V_{LBj}$  = volume (L) do leite pasteurizado padronizado tipo B no mix ótimo do cenário “j”, 40 = teor médio (%) de gordura do creme, 3 = teor médio (%) de gordura do leite pasteurizado padronizado tipo B (%),  $G_{1j}$  = teor (%) de gordura no LC1 no cenário ‘j’ (%),  $V_{LC1j}$  = volume (L) de LC1 necessário para processar um L de leite pasteurizado padronizado tipo B,  $G_{50j}$  = teor (%) de gordura no LC50 no cenário ‘j’ (%),  $Q_{C40Rj}$  = quantidade (kg) de creme com 40% de gordura gerado pela padronização do leite pasteurizado padronizado resfriado no cenário “j”,  $V_{LRj}$  = volume (L) do leite pasteurizado padronizado resfriado no mix ótimo do cenário “j” e  $V_{LC50j}$  = volume (L) de LC50 necessário para processar um L de leite pasteurizado padronizado resfriado. A soma do  $Q_{C40Bj}$  e  $Q_{C40Rj}$  corresponde à quantidade total (kg) de creme com 40% de gordura gerado pela padronização de ambos os tipos de leite pasteurizado no cenário “j”. As quantidades de proteína e caseína nos leites LB e LR são

resultados da multiplicação entre os teores desses componentes nos tipos de leite cru LC1 e LC50, seus respectivos volumes necessários para cada L de LB e LR e a densidade média do leite cru (1,03).

Para determinar o volume de leite necessário na produção de cada kg dos queijos MP, MC, MB, MF, PB, PT e RC, utilizou-se a equação de predição de produção de queijos de Van Slyke adaptada (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003) apresentada a seguir:

$$V_{LC50Qij} = 1/\{1,03*1,22*[(RG_i*G_{50j})+(C_j-PC_i)]/(100-W_i)\} \quad (21).$$

O queijo RC é produzido com leite pasteurizado integral e soro proveniente da produção dos demais queijos. Para cálculo do volume (L) de leite cru necessário para o processamento de um kg de RC também foi utilizada a fórmula de Van Slyke adaptada (CANZIANI E GUIMARÃES, 2003) substituindo-se o termo 'C<sub>j</sub>-PC<sub>i</sub>' por 'RP<sub>i</sub>\*P<sub>j</sub>' como apresentada a seguir:

$$V_{LC50Qij} = 1/\{1,03*1,22*[(RG_i*G_{50j})+(RP_i*P_j)]/(100-W_i)\} \quad (22)$$

onde  $V_{LC50Qij}$  = volume (L) de LC50 necessário por kg de queijo 'i' no cenário 'j', 1,03 = densidade média (kg/L) do leite cru, 1,22 = constante para adição permitida de sal e sólidos,  $RG_i$  = coeficiente de retenção de gordura do leite no queijo 'i',  $G_{50j}$  = teor (%) de gordura no leite cru no cenário 'j',  $C_{50j}$  = teor (%) de caseína no leite cru no cenário 'j',  $PC_i$  = perda (%) de caseína do leite na produção do queijo 'i',  $RP_i$  = coeficiente de retenção de proteína na ricota,  $P_{50j}$  = teor médio (%) de proteína no leite cru no cenário 'j' e  $W_i$  = teor (%) de umidade do queijo 'i'.

O volume (L) de soro necessário para produção de um kg de RC foi definido pela seguinte equação:

$$V_{SRj} = 1/\{1,025*1,22*[(RG_i*0,725)+(RP_i*0,82)]/(100-W_i)\} \quad (23)$$

onde  $V_{SRj}$  = volume (L) de soro necessário por kg de ricota no cenário 'j', 1,025 = densidade média (kg/L) do soro, 1,22 = constante para adição permitida de sal e sólidos,  $RG_i$  = coeficiente de retenção de gordura na ricota, 0,725 = teor médio (%) de gordura do soro (TEIXEIRA; FONSECA, 2008),  $RP_i$  = coeficiente de retenção de proteína na ricota, 0,82 = teor médio (%) de proteína no soro (TEIXEIRA; FONSECA, 2008) e  $W_i$  = teor médio (%) de umidade da ricota (ESPER, BONETS E KUAYE, 2007).

As quantidades de gordura, proteína e caseína do LC50 nos queijos são resultados da multiplicação entre os teores desses componentes no LC50, seus respectivos volumes necessários para cada kg de queijo e a densidade média do leite cru (1,03). As quantidades de gordura, proteína e caseína do LC50 e do soro na ricota são resultados da multiplicação entre os teores desses componentes no LC50 e no soro, seus respectivos volumes necessários para cada kg de ricota a densidade média do leite cru (1,03).

Os valores das variáveis, provenientes de dados da literatura, de cada equação anteriormente apresentada estão ilustrados na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores das variáveis de cada uma das equações de quantidade, volume e rendimento de matérias-primas, produtos lácteos intermediários e finais nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011

Variável*	LB	LR	MP	MC	MB	MF	PB	PT	RC	C40 <sub>A</sub>	C40 <sub>B</sub>
RG	-	-	0,88 <sup>a</sup>	0,86 <sup>b</sup>	0,86 <sup>b</sup>	0,85 <sup>c</sup>	0,73 <sup>b</sup>	0,73 <sup>b</sup>	0,97 <sup>d</sup>	-	-
PC	-	-	0,32 <sup>a</sup>	0,36 <sup>b</sup>	0,36 <sup>b</sup>	0,13 <sup>c</sup>	0,53 <sup>b</sup>	0,53 <sup>b</sup>	-	-	-
W	-	-	49,85 <sup>a</sup>	46,00 <sup>b</sup>	46,00 <sup>b</sup>	61,31 <sup>e</sup>	39,00 <sup>b</sup>	39,00 <sup>b</sup>	69,60 <sup>f</sup>	-	-
RP	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99 <sup>d</sup>	-	-

Fonte: <sup>a</sup>(BARBOSA et al., 2009), <sup>b</sup>(CANZIANI; GUIMARÃES, 2003), <sup>c</sup>(ANDREATTA et al., 2009), <sup>d</sup>(MODLER, 1988), <sup>e</sup>(AQUINO et al., 2009) e <sup>f</sup>(ESPER; BONETS; KUAYE, 2007)

\*LB: leite pasteurizado padronizado tipo B, LR: leite pasteurizado padronizado resfriado, MP: queijo Minas Padrão, MC: queijo Mussarela Comum, MB: queijo Mussarela Bola, MF: queijo Minas Frescal, PB: queijo Provolone Bola, PT: queijo Provolone Temperado, RC: queijo Ricota, C40<sub>B</sub> e C40<sub>R</sub>: creme de leite com 40% de gordura da padronização dos leites LB e LR, respectivamente. RG: coeficiente de retenção de gordura no queijo, PC: perda de caseína do leite cru, W: teor médio (%) de umidade no queijo e RP: coeficiente de retenção de proteína no queijo

A função objetivo do modelo é maximizar a MCT diária do laticínio em cada cenário somando os produtos das multiplicações das variáveis de decisão (produtos “i”) pelas respectivas margens de contribuição unitárias (MCU), segundo a seguinte equação:

$$MCT_j = \sum_{i=1}^{10} (X_{ij} * MCU_{ij}), j = 1, 2 \quad (24)$$

onde  $MCT_j$  = margem de contribuição diária total (R\$) do cenário “j”,  $X_{ij}$  = quantidade (kg) ou volume (L) da variável de decisão (produto lácteo) “i” do cenário “j” e  $MCU_{ij}$  = margem de contribuição unitária (R\$) da variável de decisão “i” do cenário “j”. A MCU é a diferença entre preço de venda e custo direto unitário de cada produto. O C40 possuía MCU de R\$ 1,99.

Os custos do leite cru não foram considerados nos cálculos dos custos diretos unitários. Os custos indiretos foram rateados em função do volume de leite cru destinado para cada produto em cada cenário. O custo indireto médio ponderado por L de leite cru e os

preços-sombra dos componentes do leite foram utilizados para definir o preço máximo do L do leite cru em R\$ que o laticínio poderia pagar para seus fornecedores pela seguinte equação:

$$\$_{LC} = S_{LC} + 1,03*(S_P*\%P_F + S_C*\%C_F + S_G*\%G_F)/100 - C_I \quad (25)$$

onde  $\$_{LC}$  = preço máximo do L de leite cru (R\$/L),  $S_{LC}$  = preço-sombra do L do leite cru (R\$/L), 1,03 = densidade média (kg/L) do leite cru,  $S_P$  = preço-sombra do kg da proteína do leite cru (R\$/kg),  $\%P_F$  = teor (%) de proteína do leite cru do fornecedor,  $S_C$  = preço-sombra do kg da caseína do leite cru (R\$/kg),  $\%C_F$  = teor (%) de caseína do leite cru do fornecedor,  $S_G$  = preço-sombra do kg da gordura do leite cru (R\$/kg),  $\%G_F$  = teor (%) de gordura do leite cru do fornecedor e  $C_I$  = custo indireto médio ponderado por L de leite cru processado (R\$/L).

O lucro antes de juros, impostos, depreciação e amortização (LAJIDA) do laticínio foi calculado em ambos os cenários pela seguinte equação:

$$LAJIDA_j = MCT_j - (\$_{LC1j}*V_{LC1j} + \$_{LC50j}*V_{LC50j}) \quad (26)$$

onde  $LAJIDA_j$  = lucro antes de juros, impostos, depreciação e amortização (R\$) no cenário “j”,  $MCT_j$  = margem de contribuição total (R\$) no cenário “j”,  $\$_{LC1j}$  = preço máximo do L do LC1 (R\$/L) no cenário “j”,  $V_{LC1j}$  = volume (L) de LC1 disponível no cenário “j”,  $\$_{LC50j}$  = preço máximo do L do LC50 (R\$/L) no cenário “j” e  $V_{LC50j}$  = volume (L) de LC50 disponível no cenário “j”. Não foram considerados juros, impostos, depreciações e amortizações.

Por fim, foram calculados os preços do leite cru e as receitas máximas recebidas por dois produtores (Produtor 1 e Produtor 2) que forneciam para o laticínio leite cru em quantidades e qualidades diferentes entre si em ambos os cenários. Dentre os 50 fornecedores de leite cru do laticínio, foram selecionados dois produtores cujas composições do leite cru eram bem diferentes entre si, sendo que o Produtor 1 fornecia leite cru com teores de gordura, proteína e caseína superiores aos do Produtor 2, porém, em menor volume.

### 3.2.3 Restrições

Em ambos os cenários foram calculadas as quantidades (kg) médias diárias disponíveis de gordura, proteína e caseína em função dos volumes (L) e dos teores (%) médios diários dos componentes dos tipos 1 e 50 de leite cru (Tabela 10), segundo as seguintes equações:

$$P_{Lj} = V_{Lj} * \%P_{Lj} * 1,03/100 \quad (27)$$

$$C_{Lj} = V_{Lj} * \%C_{Lj} * 1,03/100 \quad (28)$$

$$G_{Lj} = V_{Lj} * \%G_{Lj} * 1,03/100 \quad (29)$$

onde  $P_{Lj}$  = quantidade (kg) de proteína do leite cru do cenário 'j',  $V_{Lj}$  = volume (L) de leite cru captado no cenário 'j',  $\%P_{Lj}$  = teor (%) de proteína do leite cru no cenário 'j', 1,03 = densidade do leite cru (kg/L),  $C_{Lj}$  = quantidade (kg) de caseína do leite cru do cenário 'j',  $\%C_{Lj}$  = teor (%) de caseína do leite cru no cenário 'j',  $G_{Lj}$  = quantidade (kg) de gordura do leite cru do cenário 'j' e  $\%G_{Lj}$  = teor (%) de gordura do leite cru no cenário 'j'.

O volume de soro gerado na produção de cada tipo de queijo 'i' foi determinado em ambos os cenários 'j' pela seguinte equação:

$$V_{SQij} = (1,03 * V_{LC50Qij} * Q_{ij} - Q_{ij}) / 1,025 \quad (30)$$

onde  $V_{SQij}$  = volume (L) de soro gerado por quantidade (kg) de queijo 'i' produzido no cenário 'j', 1,03 = densidade média (kg/L) do leite cru,  $V_{LC50Qij}$  = volume (L) de LC50 necessário por kg de queijo 'i' (L/kg) no cenário 'j',  $Q_{ij}$  = quantidade (kg) de queijo 'i' produzida no cenário 'j' e 1,025 = densidade média (kg/L) do soro. A soma dos  $V_{SQij}$  corresponde ao volume total (L) de soro dos queijos 'i' disponível para produção de ricota no cenário 'j'.

As quantidades (kg) disponíveis de gordura e proteína do soro foram calculadas em função dos volumes (L) e das composições médias (%) do soro (TEIXEIRA; FONSECA, 2008), segundo as seguintes equações:

$$KP_{Sj} = \Sigma V_{SQij} * 0,82 * 1,025 / 100 \quad (31)$$

$$KG_{Sj} = \Sigma V_{SQij} * 0,725 * 1,025 / 100 \quad (32)$$

onde  $KP_{Sj}$  = quantidade (kg) de proteína do soro do cenário 'j',  $\Sigma V_{SQij}$  = soma dos volumes (L) de soro da produção dos queijos 'i' no cenário 'j', 0,82 = teor médio (%) de proteína do soro, 1,025 = densidade (kg/L) do soro,  $KG_{Sj}$  = quantidade (kg) de gordura do soro no cenário 'j' e 0,725 = teor médio (%) de gordura do soro.

Além das restrições de matérias-primas (componentes do leite) da Tabela 13, a solução ótima do mix de produtos lácteos para maximização da MCT tinha que respeitar as restrições de demanda de produtos e de tempo disponível de equipamentos e mão de obra. O laticínio possuía seis funcionários. Cada um trabalhava por 6,29 horas diárias (44 horas semanais) totalizando 37,71 horas-homem diárias. O tempo de utilização de cada equipamento correspondia à jornada diária de trabalho de 6,29 horas. O laticínio tinha que produzir diariamente pelo menos 180 L de LB e 240 L de LR.

Tabela 13 – Restrições médias de volumes e componentes dos dois tipos de leite cru captados pelo laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011

	Janeiro		Julho	
	Leite cru 1 <sup>1</sup>	Leite cru 50 <sup>2</sup>	Leite cru 1 <sup>1</sup>	Leite cru 50 <sup>2</sup>
Gordura, kg	40,71	263,42	43,84	152,17
Proteína, kg	40,83	269,87	39,45	141,50
Caseína, kg	31,87	211,40	30,65	108,56

Fonte: elaborado pelo autor conforme dados do laticínio e da Clínica do Leite, ESALQ, USP

<sup>1</sup>Leite cru destinado à produção de leite pasteurizado tipo B padronizado em 3% de gordura

<sup>2</sup>Leite cru destinado à produção dos demais produtos lácteos do laticínio

### 3.3 Resultados e discussão

Foram encontradas soluções ótimas obedecendo todas as restrições dos modelos em ambos os cenários. Os saldos de utilização dos recursos disponíveis e os preços-sombra dos recursos limitantes atuantes estão apresentados na Tabela 14.

Em Janeiro, a caseína do leite LC1, a caseína do LC50 e a embaladora foram os recursos limitantes atuantes, pois seus suprimentos foram totalmente utilizados no processamento dos produtos lácteos. Assim, foram também os únicos a apresentarem preços-sombra. Já em Julho, os recursos limitantes atuantes que apresentaram preços-sombra foram a caseína do LC1, o LC50 e a embaladora.

A embaladora limitou a produção do queijo MF em ambos os cenários. Apesar da disponibilidade de tempo da embaladora ser a mesma em ambos os cenários, seu preço-sombra foi maior em Julho. O preço-sombra pode ser interpretado como o custo de oportunidade de se ter uma unidade a mais de recurso para se processar. Em outras palavras, o preço-sombra representa o lucro que se teria se fosse processada uma unidade a mais do recurso limitante atuante. Portanto, pode-se entender que o preço-sombra do recurso limitante atuante é o preço-máximo que se pode pagar por tal recurso sem que haja prejuízo.

Tabela 14 – Saldos e preços-sombra dos recursos do laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011

Recursos	Janeiro		Julho	
	Saldo	Preço-sombra, R\$	Saldo	Preço-sombra, R\$
Leite cru 1, L	16,38	0,00	6,53	0,00
Gordura do leite cru 1, kg	5,30	0,00	11,00	0,00
Proteína do leite cru 1, kg	0,70	0,00	0,04	0,00
Caseína do leite cru 1, kg	0,00	57,97	0,00	56,96
Leite cru 50, L	62,39	0,00	0,00	1,47
Gordura do leite cru 50, kg	15,80	0,00	18,51	0,00
Proteína do leite cru 50, kg	1,19	0,00	0,77	0,00
Caseína do leite cru 50, kg	0,00	56,01	0,84	0,00
Pasteurizador, h	4,38	0,00	5,20	0,00
Padronizadora, h	4,73	0,00	5,53	0,00
Ensacadora, h	3,18	0,00	4,77	0,00
Embaladora, h	0,00	11,99	0,00	31,80
Mão de obra, h	24,19	0,00	27,45	0,00

Fonte: elaborado pelo autor conforme dados do laticínio e da Clínica do Leite, ESALQ, USP

A caseína do LC1 foi o fator limitante da produção do LB recebendo precificação. O volume de LC50 foi fator limitante da produção de LR em Julho recebendo precificação. Devido a este resultado, plantas processadoras de leite fluido podem precificar o leite cru em função da quantidade de lactose ou do volume de leite cru nas épocas de entressafra.

Como a gordura de ambos os tipos de leite cru não foi totalmente utilizada, ela não obteve preço-sombra, pois não limitou a fabricação de produtos lácteos. Porém, se o laticínio possuísse produtos a base de gordura, como manteiga, requeijão ou creme de leite, em sua linha de derivados lácteos, talvez a gordura do LC50 poderia receber valor. Outros trabalhos também demonstraram desvalorização da gordura em relação a outros componentes do leite cru devido a mudanças de hábitos alimentares dos consumidores. O valor da gordura do leite pode diminuir como consequência da menor demanda por alimentos com maior teor de gordura, como a manteiga, em detrimento do aumento da preferência do consumidor por alimentos com menor teor de gordura, como as pastas lácteas (“dairy spreads”), ricas em proteína (BREEN, 2001). Estudo sobre demanda do consumidor por produtos lácteos na região de Boston, nos EUA, indica que há preferência global para leite convencional contendo gordura, principalmente em famílias com crianças abaixo de 15 anos de idade, sendo que a preferência aumenta com a elevação da quantidade de filhos dessa faixa etária. Em



contrapartida, quanto maior a renda familiar, maior é a preferência por tipos especiais de leite, como leites orgânicos, leites sem lactose e, acima de todos, leites com baixos teores de gordura (LOPEZ; LOPEZ, 2009). Na Irlanda, o consumo de leite integral e de manteiga diminuiu enquanto que a demanda por produtos lácteos com menor teor de gordura, como leite desnatado, queijos, iogurtes e pastas lácteas, aumentou no período compreendido entre 1989 e 1999, acarretando em desvalorização da gordura do leite em relação à proteína (BREEN, 2001). A mudança de preferência de leite integral para leite desnatado nos consumidores foi uma das razões para se estabelecer o pagamento dos componentes do leite na Califórnia (GRUEBELE, 1979). Essa tendência nos hábitos alimentares do consumidor leva a indústria láctea a investir no aumento da produção de alimentos lácteos ricos em proteína, acarretando em valorização deste nutriente em relação aos outros componentes sólidos do leite, e o sistema de pagamento deve refletir essa valorização (BREEN, 2001).

A partir dos preços-sombra dos componentes de ambos os tipos de leite cru, das margens de contribuição total ótimas e dos custos indiretos médios do L do leite cru foi possível calcular os preços do L dos dois tipos de leite cru e os LAJIDA ótimos e reais do laticínio apresentados na Tabela 15.

A MCT foi maior em Janeiro devido ao maior volume de leite disponível para produção de derivados lácteos. Este resultado já era esperado por Janeiro e Julho fazerem parte dos períodos de safra e entressafra leiteiras na região Sudeste do Brasil, respectivamente. Pelo mesmo motivo, os custos indiretos para cada L de leite cru processado foram menores em Janeiro, pois quanto maior o volume de leite cru disponível para processamento pelo laticínio, maior será a diluição de custos indiretos por L de leite beneficiado. Em ambos os cenários, como já era esperado, as MCTs ótimas foram maiores dos que as reais devido à melhor alocação de recursos para os produtos com maiores margens de contribuição unitária por unidade de recurso limitante atuante.

Aplicando-se os custos indiretos médios do L de leite cru e os preços-sombra dos componentes dos dois tipos de leite cru na equação proposta de cálculo do preço máximo do L do leite cru (equação 25), obtiveram-se preços máximos do leite cru superiores aos realmente praticados pelo laticínio. Os preços calculados do L de LC1 foram os maiores. Os preços calculados de ambos os tipos de leite cru foram maiores em Janeiro, diferentemente do que ocorre na realidade em que os maiores preços são praticados na época de entressafra leiteira, correspondente ao cenário de Julho, e não na safra do leite, correspondente a Janeiro. Esses preços dos dois tipos de leite cru de Janeiro superiores aos de Julho devem-se ao fato de

os preços-sombra das caseínas dos leites cru LC1 (R\$57,97/kg) e LC50 (R\$56,01/kg) serem maiores que os preços-sombra da caseína do LC1 (R\$56,96/kg) e do LC50 (R\$1,47/L), respectivamente.

Tabela 15 – Margens de contribuição total, custos indiretos médios ponderados por litro de leite cru, preços máximos, praticados e intermediários dos dois tipos de leite cru e LAJIDAS do laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011

	Janeiro	Julho
<b>Resultados com preços máximos do leite cru</b>		
Margem de contribuição total ótima, R\$	13797,96	8077,97
Preço máximo do leite cru 1, R\$/L	1,39	1,31
Preço máximo do leite cru 50, R\$/L	1,30	1,23
Custos indiretos ótimos médios do leite cru, R\$/L	0,14	0,24
LAJIDA (preço máximo), R\$	1427,49	1486,66
<b>Resultados com preços praticados do leite cru</b>		
Margem de contribuição total real, R\$	9974,53	7186,90
Preço praticado do leite cru, R\$/L	0,65	0,80
Custos indiretos reais médios do leite cru, R\$/L	0,16	0,25
LAJIDA (preço praticado), R\$	2348,33	1611,43
<b>Resultados com preço intermediário do leite cru</b>		
Margem de contribuição total ótima, R\$	13797,96	8077,97
Preço intermediário médio dos leites cru 1 e 50, R\$/L	1,22	1,22
Custos indiretos ótimos médios do leite cru, R\$/L	0,14	0,24
LAJIDA (preço intermediário), R\$	2348,33	1611,43

Fonte: elaborado pelo autor conforme dados do laticínio e da Clínica do Leite, ESALQ, USP

Cada laticínio determina seus próprios critérios de bonificação e penalização do pagamento em função da qualidade do leite (CBT e CCS, além dos constituintes sólidos do leite). Está em vigor desde 19 de junho de 2012 a lei nº 12669 que obriga os laticínios de informarem o preço do L do leite cru aos fornecedores até o dia 25 do mês anterior à compra do leite (BRASIL, 2012). O Conseleite – PR calcula todo mês o preço de referência do leite cru padrão em função do mix de produtos lácteos, dos rendimentos industriais dos produtos, do custo de produção e da qualidade do leite cru (CANZIANI; GUIMARÃES, 2003), mas não se conhece programa brasileiro de precificação do kg de componentes sólidos do leite como o proposto neste trabalho.

Subtraindo da MCT ótima a soma do produto da multiplicação dos preços máximos do L pelos volumes disponíveis de ambos os tipos de leite cru, obteve-se LAJIDA diário ótimo do laticínio. O LAJIDA diário real foi obtido subtraindo-se da MCT real o

produto da multiplicação dos volumes disponíveis de ambos os tipos de leite cru pela soma do preço real praticado com os custos indiretos médios do L do leite cru. O LAJIDA diário real foi maior que o LAJIDA diário ótimo em ambos os cenários porque os preços praticados reais foram inferiores aos preços calculados máximos do L dos dois tipos de leite cru. Mesmo assim, os resultados do LAJIDA diário ótimo em ambos os cenários demonstram que é possível lucrar pagando-se mais pela matéria prima.

Porém, o laticínio pode obter os mesmos LAJIDAS praticados de Janeiro e Julho produzindo os mixes ótimos de ambos os cenários sem a necessidade de custos extras de aquisição de matéria prima. Para isso, é necessário calcular o preço médio intermediário do L do leite cru que o laticínio poderia remunerar seus fornecedores em Janeiro e Julho. Igualando-se a equação 26 dos LAJIDAS ótimos aos valores obtidos nos LAJIDAS reais de Janeiro (R\$2348,33) e Julho (R\$1611,43), respectivamente, e isolando-se as variáveis-resposta (preços médios intermediários do L de leite cru de ambos os cenários) das equações, foi possível determinar seus valores. O preço do leite cru equivaleria a R\$1,22/L em ambos os cenários para se obter os mesmos LAJIDAS reais com os mixes ótimos sem custos adicionais com aquisição de matéria prima. Nessas condições, considerando as composições médias ponderadas por L dos dois tipos de leite cru (LC1 e LC50) nos cenários de Janeiro (3,14% de gordura, 3,20% de proteína e 2,51% de caseína) e de Julho (3,59% de gordura, 3,32% de proteína e 2,55% de caseína), a caseína valeria R\$52,45/kg e R\$55,61/kg em Janeiro e Julho, respectivamente.

Finalizando o trabalho, foram calculados os preços e as receitas máximas do LC50 de dois fornecedores do laticínio que produziam leite cru em quantidade e qualidade diferentes entre si em ambos os cenários (Tabela 16).

Tabela 16 – Volumes, composições, preços e receitas totais máximas do leite cru produzido por dois fornecedores do laticínio nos cenários diários de Janeiro e Julho de 2011

	Janeiro		Julho	
	Produtor 1	Produtor 2	Produtor 1	Produtor 2
Volume de leite cru, L	44,26	156,59	22,83	109,98
Gordura, %	3,49	2,36	4,69	2,38
Proteína, %	3,85	2,98	3,54	3,51
Caseína, %	2,95	2,43	2,83	2,20
Preço máximo do leite cru, R\$/L	1,56	1,26	1,23	1,23
Receita total máxima, R\$	69,13	197,16	27,99	134,83

Fonte: elaborado pelo autor conforme dados do laticínio e da Clínica do Leite, ESALQ, USP

Os preços máximos do L de leite cru a serem pagos pelo laticínio para ambos os produtores foi maior em Janeiro, como observado anteriormente. Apesar de o produtor 2 fornecer ao laticínio mais leite cru do que o produtor 1, este produz leite cru com maiores teores de sólidos, inclusive caseína, cujo preço-sombra foi de R\$56,01/kg, sendo consequentemente mais bem remunerado pelo L de leite cru vendido em Janeiro.

Em Julho, o preço máximo do L de leite cru foi igual para ambos os produtores, pois seu valor foi determinado pelo preço-sombra do volume de LC50 (R\$1,47/L), descontado o custo indireto (R\$0,24/L de leite cru) desse cenário. No entanto, a receita total máxima diária do produtor 2 é maior em ambos os cenários devido ao maior volume de leite cru produzido gerando maiores quantidades de componentes sólidos do leite que o produtor 1.

### 3.4 Conclusões

A programação linear é ferramenta útil para laticínios no planejamento da produção para maximização da MCT e na precificação do leite cru utilizando os preços-sombra de seus componentes limitantes.

Os componentes do leite cru, assim como seu volume, são passíveis de precificação.

A precificação do leite cru pelo modelo proposto remunera o produtor em função dos preços-sombra e da disponibilidade de volume ou quantidade de componentes sólidos do leite cru.

O laticínio pode maximizar seu LAJIDA remunerando melhor seus fornecedores em função da qualidade do leite cru e planejando melhor seu mix de produtos.

### Referências

ANDREATTA, E.; DOS SANTOS, M.V.; MUSSARELLI, C.; MARQUES, M.C.; GIGANTE, M.L. Quality of minas frescal cheese prepared from milk with different somatic cell counts. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 320-326, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n3/v44n3a14.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2013.

AQUINO, A.A.; PEIXOTO JUNIOR, K.D.C.; GIGANTE, M.L.; RENNÓ, F.P.; PRADA E SILVA, L.F.; SANTOS, M.V.D. Efeito de níveis crescentes de uréia na dieta de vacas leiteiras sobre a composição e rendimento de fabricação de queijos minas frescal. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v. 46, n. 4, p. 7, 2009.

Disponível em: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=536845&indexSearch=ID>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

BARBOSA, J.B.; TALMA, S.V.; BATISTA, C.S.; MARTINS, M.L.; PINTO, C.L.D.O. Avaliação de rendimento da produção dos queijos Minas Frescal, Minas Padrão e Mussarela fabricados com leite inoculado com *Pseudomonas Fluorescens*. **Revista do Instituto de Laticínios "Cândido Tostes"**, Juiz de Fora, v. 64, n. 371, p. 8, 2009. Disponível em: <[http://www.revistadoilct.com.br/detalhe\\_artigo.asp?id=370](http://www.revistadoilct.com.br/detalhe_artigo.asp?id=370)>. Acesso em: 15 jan. 2013.

BLOWEY, R.W.; EDMONDSON, P. **Mastitis control in dairy herds**. Wallingford: Cabi, 2010. 272 p.

BOTARO, B.G.; GAMEIRO, A.H.; SANTOS, M.V.D. Quality based payment program and milk quality in dairy cooperatives of Southern Brazil: an econometric analysis. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 1, p. 21-26, 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162013000100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162013000100004&script=sci_arttext)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

BRASIL. Leis, decretos, etc. Lei nº 12669 de 19 de junho de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 12669, p. 1, 2012.

BREEN, J.P. **A new direction for the payment of milk**: technological and seasonality considerations in multiple component milk pricing (liquid and manufacturing) for a diversifying dairy industry. 2001. 188 p. Thesis (Master of Science in Agricultural Science) - Department of Agribusiness, Extension and Rural Development, University College of Dublin, Dublin, 2001.

CANZIANI, J.R.; GUIMARÃES, V.D.A. **Manual de instruções do Conseleite - Paraná**. Curitiba: SENAR – PR, Centro de Documentação, Informações Técnicas e Biblioteca, 2003. 110 p.

ESPER, L.M.R.; BONETS, P.A.; KUAYE, A.Y. Avaliação das características físico-químicas de ricotas comercializadas no município de Campinas-SP e da conformidade das informações nutricionais declaradas nos rótulos. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 3, n. 66, p. 6, 2007.

GEARY, U.; LOPEZ-VILLALOBOS, N.; GARRICK, D.; SHALLOO, L. Development and application of a processing model for the Irish dairy industry. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 93, n. 11, p. 5091-5100, 2010. ISSN 0022-0302. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030210005497>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

GRUEBELE, J.W. The California experience in component pricing. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 62, n. 8, p. 1368-1373, 1979. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B9887-4YY69T8-12/2/e40eda6b6b7dae50ae89351f938d6502>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

LOPEZ, E.; LOPEZ, R.A. Demand for differentiated milk products: implications for price competition. **Agribusiness**, New Jersey, v. 25, n. 4, p. 453-465, 2009. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/agr.20219/pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2013.

MCCARL, B.A.; MEERAUS, A.; VAN DER EIJK, P.; BUSSIECK, M.; DIRKSE, S.; STEACY, P.; NELISSEN, F. **McCarl GAMS user guide**. GAMS Development Corporation, College Station, 2013. 872 p.

MODLER, H.W. Development of a continuous process for the production of ricotta cheese. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 71, n. 8, p. 2003-2009, 1988. <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(88\)79775-1/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(88)79775-1/abstract)>. Acesso em: 15 jan. 2013.

ROMA, L.C.; MONTOYA, J.F.G.; MARTINS, T.T.; CASSOLI, L.D.; MACHADO, P.F. Seasonability of protein and others milk components related with quality payment program. **Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinaria e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 61, n. 6, p. 1411-1418, Dec. 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-09352009000600022&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-09352009000600022&script=sci_arttext)>. Acesso em: 21 nov. 2013.

STEPHANI, R.; PERRONE, Í.T. Balanço de massa aplicado a tecnologia de produção do leite condensado: considerações técnicas. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 67, n. 387, p. 8, 2012. Disponível em: <[http://www.revistadoilct.com.br/detalhe\\_artigo.asp?id=523](http://www.revistadoilct.com.br/detalhe_artigo.asp?id=523)>. Acesso em: 15 jan. 2013.

TEIXEIRA, L.V.; FONSECA, L.M. Perfil físico-químico do soro de queijos mozzarella e minas-padrão produzidos em várias regiões do estado de Minas Gerais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 60, n. 1, p. 8, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abmvz/v60n1/a33v60n1.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.



#### **4 CONCLUSÕES GERAIS**

Ferramentas computacionais de otimização e apoio à decisão baseados em programação linear podem maximizar lucros dos laticínios através do melhor planejamento da produção do mix de produtos lácteos. Adicionalmente, essas ferramentas podem auxiliar os laticínios a remunerarem seus fornecedores em função do preço e da disponibilidade de volume ou quantidade de componentes do leite cru. Assim, os laticínios poderão otimizar o aproveitamento de recursos e estrutura disponíveis, os produtores de leite cru serão corretamente remunerados e os consumidores serão beneficiados com produtos lácteos de melhor qualidade.





## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das dificuldades desse trabalho foi encontrar na literatura equações e coeficientes de recuperação de componentes do leite cru (gordura, proteína e caseína) dos queijos brasileiros regionais (queijos Minas Padrão e Minas Frescal). Quanto aos demais queijos (Mussarela, Provolone e Ricota), foi mais fácil encontrar na literatura esses dados, pois são queijos cosmopolitas estudados e consumidos em muitos países, inclusive no Brasil. Os queijos Minas Padrão e Minas Frescal são produzidos, consumidos e estudados, principalmente no estado de Minas Gerais e estados limítrofes (São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Sul da Bahia e Goiás). Nos demais estados, as produções e consumos desses queijos não são tão representativos como são as produções e consumos dos queijos Mussarela, Provolone e Ricota. No Paraná, por exemplo, os queijos Minas Padrão e Minas Frescal não participam do mix de produtos lácteos utilizado no cálculo do preço de referência do leite padrão do Conleite – PR. Devido a essas diferenças regionais no portfólio de produtos lácteos, sugere-se que sejam realizados mais estudos sobre rendimentos, equações e coeficientes de recuperação de componentes do leite cru nesses queijos regionais. Esses dados contribuem sobremaneira, tanto com o desenvolvimento de ferramentas computacionais de planejamento da produção baseadas em modelos de otimização, quanto com o desenvolvimento de programas de precificação dos componentes do leite cru que respeitem essas diferenças regionais.