

---

**OTÁVIO TOLEDO PORTO ALVES**

**MODELO DE PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO E  
DISTRIBUIÇÃO FÍSICA EM FÁBRICAS DE  
PRODUTOS LÁCTEOS**

Trabalho de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do Diploma de  
Engenheiro de Produção.

Orientador:

Profª Drª Débora Pretti Ronconi

São Paulo

2005

---

---

“Ao meu pai”

---

---

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, pelo apoio e amor incondicionais.

À Prof<sup>ª</sup> Débora, pelo constante incentivo, apoio e motivação dados durante o decorrer de todo o trabalho.

Aos colegas de trabalho, pelo suporte fornecido ao longo do trabalho.

Aos amigos e a todos que contribuíram com esse trabalho e com minha passagem pela Universidade.

---

---

## SUMÁRIO

Este trabalho apresenta um caso de aplicação de programação linear a um sistema real de produção e distribuição física de leite e derivados. O modelo com múltiplos períodos, múltiplas plantas, múltiplos produtos, determina um *mix* de produção e um plano de distribuição de matéria-prima entre fábricas, levado em consideração suas capacidades de estocagem, produção e de recepção, bem como os custos envolvidos no transporte.

Os detalhes da modelagem realizada, assim como o resultados obtidos, são apresentados, os quais mostram uma redução significativa em relação aos custos logísticos envolvidos no processo de distribuição e produção, além de uma sensível melhoria no nível de serviço prestado e na qualidade do produto entregue.

Finalmente, é realizada uma análise crítica do modelo, avaliando os ganhos obtidos e sugerindo possíveis pontos de melhoria.

---

---

## **ABSTRACT**

This work presents a specific model of linear programming application in a real milk and by products production planning system and logistic distribution. The multi-period, multi-plants, multi-products model determines a production mix and a raw-material distribution plan among plants, taking into account its storage, production and reception capacities, as well as transportation costs involved.

The modeling process details, as well as the results obtained, are presented and they show a relevant reduction in relation to logistics costs involved in the distribution and production process, besides a sensible improvement in the service level and quality of the delivered product.

Finally, it is done a critical analysis of the model, evaluating the obtained gains and suggesting possible improvement points.

---

---

## ÍNDICE

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVO DO TRABALHO</b>	<b>3</b>
<b>1.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA</b>	<b>3</b>
1.1.1 ORIGEM	3
1.1.2 DPA <i>MANUFACTURING</i>	5
<b>1.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA</b>	<b>14</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>20</b>
<b>2.1 PROBLEMAS RELACIONADOS</b>	<b>21</b>
2.1.1 MODELO DE PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO EM MÚLTIPLAS PLANTAS, MÚLTIPLOS ARMAZÉNS COM CAPACIDADES EXTENSÍVEIS	22
2.1.2 OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO E ARMAZENAGEM DE AÇÚCAR EM UMA USINA	22
2.1.3 OTIMIZAÇÃO DO TRANSPORTE E ESTOCAGEM DE PRODUTOS FINAIS DA INDÚSTRIA DE AÇÚCAR E ÁLCOOL	23
2.1.4 OTIMIZAÇÃO DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE MANUFATURA	23
2.1.5 PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS	24
<b>3. MODELO PROPOSTO</b>	<b>25</b>
<b>3.1 DESCRIÇÃO DO MODELO</b>	<b>25</b>
<b>3.2 HIPÓTESES ADOTADAS</b>	<b>26</b>

---

---

<b>3.3 RELAÇÃO DE ÍNDICES, VARIÁVEIS E PARÂMETROS</b>	<b>27</b>
<b>3.4 MODELO</b>	<b>31</b>
3.4.1 FUNÇÃO OBJETIVO	38
3.4.2 RESTRIÇÕES	39
<b><u>4. ANÁLISE DO MODELO</u></b>	<b><u>44</u></b>
4.1 EXEMPLO	44
4.2 RESULTADOS E ANÁLISE DO EXEMPLO	49
<b><u>5. LEVANTAMENTO DE DADOS</u></b>	<b><u>52</u></b>
5.1 DADOS DO SISTEMA	52
<b><u>6. SOLUÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</u></b>	<b><u>60</u></b>
6.1 SOLUÇÃO DO PROBLEMA	60
6.2 ANÁLISE DA SOLUÇÃO OBTIDA	61
6.3 RESULTADOS ADICIONAIS	62
6.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	64
6.5 INCLUSÃO DE PENALIDADES	66
<b><u>7. CONCLUSÃO</u></b>	<b><u>73</u></b>
7.1 ANÁLISE DO MODELO	73
7.2 PONTOS POTENCIAIS DE MELHORIA	74
<b><u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>	<b><u>76</u></b>

---

---

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.1.1.1: Estrutura de relacionamento entre as empresas Nestlé, Fonterra e DPA.</i>	<i>__5</i>
<i>Figura 1.1.2.1: Composição do leite in natura integral.</i>	<i>_____6</i>
<i>Figura 1.1.2.3: Fábricas lácteas e postos de leite.</i>	<i>_____9</i>
<i>Figura 1.2.1: Exemplo de distribuição de leite integral e semi-elaborados entre unidades.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4.1.1: Cenário para o exemplo.</i>	<i>_____44</i>

---



---

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1.1.2.1: Regiões leiteiras e unidades de captação.</i>	<i>11</i>
<i>Tabela 1.1.2.2: Fábricas lácteas, processamento de leite e produtos finais.</i>	<i>14</i>
<i>Tabela 3.3.1: Tabela de índices.</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 3.3.2: Tabela de variáveis.</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 3.3.3: Tabela de parâmetros.</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 4.1.1: Parâmetros de entrada do exemplo.</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 4.1.2: Resultados do exemplo.</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 4.1.3: Penalidade por horário de transferência.</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 5.1.1: Tempo de produção de cargas fechadas.</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 5.1.2: Estoques máximos de leite integral, por unidade.</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 5.1.3: Distância entre unidades.</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 5.1.3: Tempo de percurso entre unidades.</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 5.1.4: Custo de frete – R\$/ton/Km – por unidade de origem.</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 5.1.5: Custo de frete (leite integral, leite desnatado e creme) – R\$/ton.</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 5.1.6: Custo de frete (pré-condensado integral) – R\$/toneladas.</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 5.1.7: Custo de frete (pré-condensado desnatado) – R\$/toneladas.</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 6.2.1: Resumo do resultado final (R\$).</i>	<i>61</i>
<i>Tabela 6.3.1: Resumo dos resultados médios mensais (R\$) – 14 dias.</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 6.5.1: Resumo do resultado final acrescido de penalidades (R\$).</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 6.5.2: Número de linhas de recepção e expedição de produtos por fábricas.</i>	<i>69</i>

---

---

*Tabela 6.5.3: Avaliação do tempo de chegada entre carretas.* \_\_\_\_\_70

---

---

## LISTA DE GRÁFICOS

*Gráfico 1.1.2.2: Curvas de sazonalidade e preço do leite.* \_\_\_\_\_ 8

*Gráfico 6.3.1: Relação entre volume de leite e redução em custo.* \_\_\_\_\_ 63

*Gráfico 6.5.1: Relação entre volume de leite e tempo de espera.* \_\_\_\_\_ 67

*Gráfico 6.5.2: Tempo de chegada entre carretas por linha de recepção / expedição.* \_\_\_\_\_ 71

---

## INTRODUÇÃO

Considerando a tendência mundial de redução das margens de lucro para o setor, o Brasil tem-se destacado por apresentar as condições necessárias para se tornar um dos países mais competitivos na atividade leiteira. As condições agroclimáticas do país permitem a produção de forragens durante todo o ano e, como consequência, favorecem o estabelecimento de sistemas produtivos que possibilitam a obtenção de baixos custos de produção (Resende e Vilela, 2004).

Para garantir a sustentabilidade de vantagens que permitissem a manutenção e a sobrevivência do setor diante de um mercado mais competitivo, foi necessário iniciar um processo de reestruturação e organização dos diferentes elos que compõem a cadeia produtiva do leite, haja vista a integração cada vez maior entre os mercados, aliado à saída da intervenção governamental da cadeia produtiva do leite, o que ocasionou grandes modificações nos diferentes segmentos do sistema agroindustrial do leite. De encontro a essas novas necessidades, o foco dos esforços das empresas vem se concentrando na redução dos custos logísticos como meio de minimização de custos globais e melhoria do nível de serviço.

Neste sentido, verificou-se uma oportunidade de realizar um trabalho na área de Pesquisa Operacional aplicada ao ramo de Produção e Distribuição Física de leite e derivados, com o objetivo de reduzir custos logísticos na área de abastecimento (*Supply Chain*) em uma empresa destinada à compra, abastecimento, distribuição e industrialização de leite e derivados (DPA – *Dairy Partners Americas*), onde o autor realiza estágio.

Ao otimizar a utilização dos recursos disponíveis, a implantação de um sistema dessa natureza pode auxiliar a tomada de decisões na atual estrutura de planejamento, aprimorar o nível de atendimento logístico aos clientes e possibilitar a avaliação dos impactos de diferentes cenários nos custos do sistema.

---

---

Desta forma, o trabalho foi organizado a fim de desenvolver e aplicar um modelo matemático adequado à resolução do problema existente, sendo dividido na seguinte maneira:

**Capítulo 1 – Definição do Problema e Objetivo do Trabalho:** neste capítulo, são apresentadas a descrição da empresa e a definição do problema a ser tratado.

**Capítulo 2 – Revisão da Literatura:** neste capítulo, são descritos casos práticos e estudos relacionados ao tema proposto.

**Capítulo 3 – Modelo Proposto:** neste capítulo, é apresentado o modelo matemático para resolução do problema proposto e são levantadas e discutidas hipóteses relativas à sua construção.

**Capítulo 4 – Análise do Modelo:** neste capítulo, um exemplo ilustrativo é criado para analisar o comportamento do modelo frente a dados reais do sistema.

**Capítulo 5 – Levantamento de Dados:** neste capítulo, são levantados os parâmetros de entrada do sistema, bem como o método de obtenção dos mesmos.

**Capítulo 6 – Solução e Análise dos Resultados:** neste capítulo, em posse dos resultados gerados pelo modelo, é apresentada uma análise de sensibilidade e feita uma comparação desses com os resultados obtidos com o método utilizado atualmente para o mesmo propósito.

**Capítulo 7 – Conclusão:** neste capítulo, é realizada uma análise crítica do modelo, identificando pontos de melhoria.

---

---

## 1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVO DO TRABALHO

Este capítulo tem por finalidade definir o problema a ser analisado e o objetivo do trabalho. A primeira parte dedica-se à descrição da empresa, DPA – *Dairy Partners Américas*, bem como da área, Departamento de *Supply Chain*, em que o estudo será desenvolvido. Em seguida, são apresentados o tema escolhido e o objetivo do trabalho.

### 1.1 Descrição da empresa

#### 1.1.1 Origem

Em janeiro de 2003, Nestlé e Fonterra *Cooperative Group* estabeleceram formalmente uma aliança, dando origem à *joint venture* DPA – *Dairy Partners Americas*, em sociedade igualitária. As informações a seguir sobre a empresa tiveram como base a revista DPA (Pedrosa, 2003).

O grupo Nestlé é o maior do mundo em alimentação e nutrição com mais de 500 fábricas, penetração em 85 países e mais de 250 mil colaboradores. Seu faturamento mundial é de aproximadamente US\$ 70 bilhões anuais. Seus negócios abrangem produtos lácteos, cafés, águas, achocolatados, sucos, alimentos infantis, biscoitos, chocolates, produtos culinários, confeitos, sorvetes, cereais, rações animais, produtos farmacêuticos, entre outros, totalizando 8.500 produtos comercializados em todo o mundo.

A Fonterra é uma cooperativa de 13 mil produtores de leite, formada na Nova Zelândia em 2001. Sua produção anual é de 13,9 bilhões de litros e este índice faz dela a responsável pela comercialização de um terço de todo leite consumido no mundo. A cooperativa é também a maior exportadora que já existiu: 140 países consomem seus produtos processados em 64 fábricas. Seu faturamento anual é de US\$ 8,5 bilhões e, a cada ano, os investimentos em pesquisa beiram os US\$ 50 milhões. Além de leite fresco, a empresa produz e comercializa

---

---

leite em pó industrial, soro, ingredientes lácteos, queijos, requeijões, iogurtes, manteiga e bebidas (sucos de frutas e chás).

Com os menores custos de produção, a Fonterra terá alcance ao maior mercado da América Latina, já que conta com o grande poder de distribuição da Nestlé. A associação entre as duas empresas, em contrapartida, proporcionará a esta última ampliar suas exportações de leite em pó, bem como a produção de itens refrigerados, além de ter acesso à parte da tecnologia da empresa neozelandesa.

A DPA – *Dairy Partners Américas*, com Sede no Brasil, iniciou operações na Argentina, Brasil, Colômbia, Equador e Venezuela e pretende expandir seus negócios para outros países das Américas do Sul, Central e do Norte, com a missão de tornar-se a líder nas Américas em leite e derivados. A nova empresa é formada por duas empresas distintas: DPA Brasil *Chiled & Liquid* e DPA *Manufacturing*.

O acordo definiu que a DPA *Manufacturing* (DPA-M) realiza o abastecimento de leite, a produção de matérias primas lácteas e a fabricação de leite em pó, para as fábricas Nestlé, Fonterra e DPA Brasil *Chiled & Liquid* (DPA-B). Esta última assume o negócio completo: produção, marketing, venda e distribuição de refrigerados (iogurtes, sobremesas, leite fermentado e *petit-suisse*), produtos tratados no processo UHT (*Ultra High Temperature*), como achocolatados líquidos prontos para beber, queijos cremosos e sucos, no mercado nacional.

A figura a seguir mostra a estrutura de relacionamento, descrito acima, entre as empresas. Vale ressaltar que a DPA-B atende ao mercado local (acordo entre Fonterra Brasil e Nestlé Brasil), enquanto que a DPA-M, ao mercado regional (acordo entre as empresas sedes: Fonterra Nova Zelândia e Nestlé Suíça, para a América Latina):

---

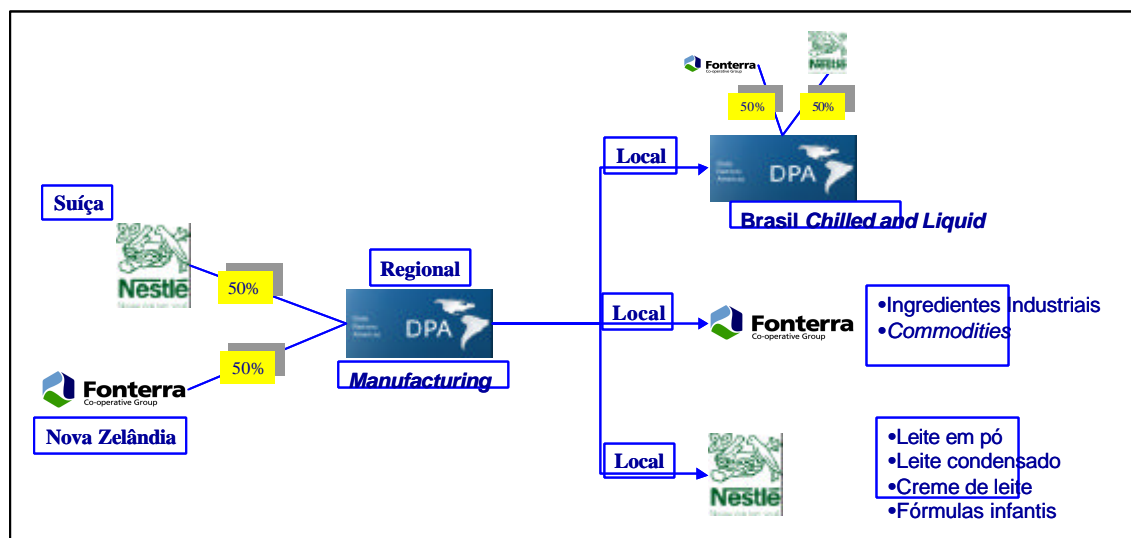


Figura 1.1.1.1: Estrutura de relacionamento entre as empresas Nestlé, Fonterra e DPA.

Para o início das operações da DPA, a Nestlé Brasil transferiu para a empresa dois mil funcionários e as fábricas de Ituiutaba, Itabuna, Goiânia, Rialma e Jataí – DPA-M, além de Araras Refrigerados e Barra Mansa – DPA-B.

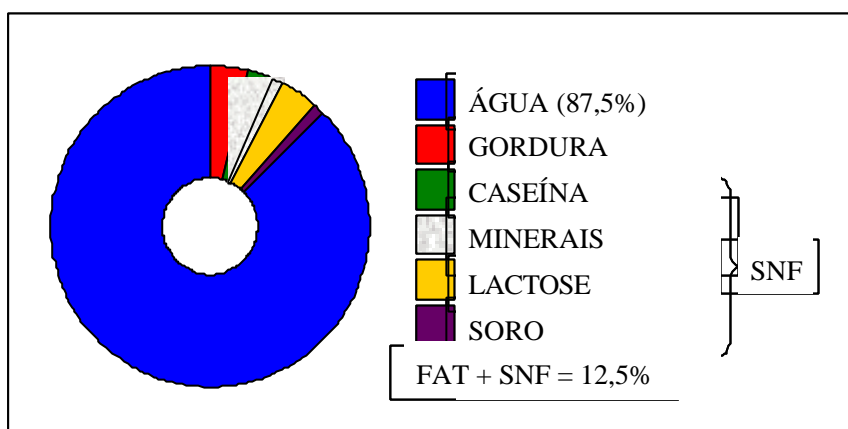
### 1.1.2 DPA Manufacturing

A DPA *Manufacturing*, formada, além das fábricas, pelos Departamentos de *Supply Chain* e *Milk Sourcing*, é responsável por todo o processo de planejamento de abastecimento de leite, o qual refere-se a todas as atividades relacionadas ao suprimento de leite em suas diferentes formas, de modo a garantir o abastecimento requerido em cada fábrica, em cada período, com qualidade e custos aceitáveis. Estas atividades incluem: previsão de demanda por leite, previsão de oferta de leite para os diferentes tipos de fornecedores, previsão de preço de leite, negociação de preço e volume do leite a ser comprado, compra do leite, roteirização e coleta do leite nos fornecedores, bem como seu transporte até as unidades de produção da DPA-M, DPA-B, Nestlé ou Fonterra, controle de qualidade do leite adquirido, assistência técnica aos fornecedores de leite próprio. Inclui ainda análises, viabilidade e conveniência da importação de leite e seus componentes em suas diferentes formas.



---

Para fins de processo, o leite é considerado uma composição de SNF (*solid non fat*: proteínas, soro, etc.), FAT (gordura) e água. A figura abaixo ilustra a composição do leite *in natura* integral e suas proporções médias (12,5% de sólidos lácteos, sendo aproximadamente 9,5% de FAT e 3% SNF, e 87,5% de água):



*Figura 1.1.2.1: Composição do leite in natura integral.*

As variações nas proporções de SNF, FAT e água definem diferentes tipos de leite: leite integral, leite desnatado, pré-condensado integral (pré-integral), pré-condensado desnatado (pré-desnatado), leite em pó integral, leite em pó desnatado, creme de leite concentrado (*butter oil* – 99,9% de gordura), creme, os quais podem ser usados como matéria prima nas unidades produtivas.

Assim como o creme e o leite desnatado, o pré-condensado é um produto semi-elaborado: produto parcialmente industrializado, utilizado como matéria-prima de produtos acabados e de produtos semi-acabados. Estes últimos, leite em pó integral, leite em pó desnatado e *butter oil*, são produzidos em embalagem industrial e, quando comercializados pela Fonterra, tornam-se produtos finais, servindo de matéria-prima para terceiros.

O leite desnatado é obtido através de um processo de desnate do leite integral, apresentando, ao final deste, uma taxa máxima de 0,2% de gordura. A sobra deste processo dá origem ao

---

---

creme: 40% gordura e 0,44% de SNF, que, por sua vez, quando desidratado, dá origem ao *butter oil*.

O leite pré-condensado integral é o resultado de uma desidratação parcial do leite *in natura*, de forma a obter uma composição de cerca de 40% de sólidos lácteos (SNF + FAT), enquanto que o pré-condensado desnatado é o resultado da desidratação do leite desnatado, apresentando em sua composição cerca de 33% de sólidos lácteos. O processo de condensação tem o intuito de atender a três objetivos principais:

- Reduzir o custo de transporte de leite entre fábricas;
- Aumentar o rendimento das fábricas lácteas;
- Atender às demandas de fábricas que requerem pré-condensado para a fabricação de alguns produtos.

Por último, o leite em pó é fabricado através da pulverização de uma mistura de leite e pré-condensado, este último em uma taxa de 0% a 50% em relação ao volume total (leite mais pré-condensado).

As demandas por leite são estimadas a partir das previsões de produção mensais para cada SKU (*Stock Keeping Unit*) em cada fábrica. Estas previsões de produção mensais, de cada SKU em cada fábrica, são efetuadas no Plano Operacional - planejamento estratégico, efetuado anualmente para um horizonte de 12 meses e detalhado mês-a-mês, que procura definir a melhor maneira de operacionalizar as atividades a serem desenvolvidas por cada empresa, visando atingir as metas definidas para o ano considerado, respeitando as restrições existentes - e atualizadas mensalmente. As previsões de produção dependem da política de estoque e das previsões de demanda mensais para cada SKU.

No Planejamento do Abastecimento de Leite, é feito um esforço para captação de leite a custo competitivo, visando compatibilizar, no agregado de todas as fábricas, o suprimento e demanda por matéria prima (leite e seus ingredientes), já que a produção de leite é variável

---

ao longo do ano. Pode-se considerar que um ciclo, constituído de um período de safra e outro de entressafra, é completado a cada ano. Na safra, a produção e oferta de leite são abundantes e, conseqüentemente, os preços são baixos. O oposto ocorre durante a entressafra, conforme gráfico abaixo:

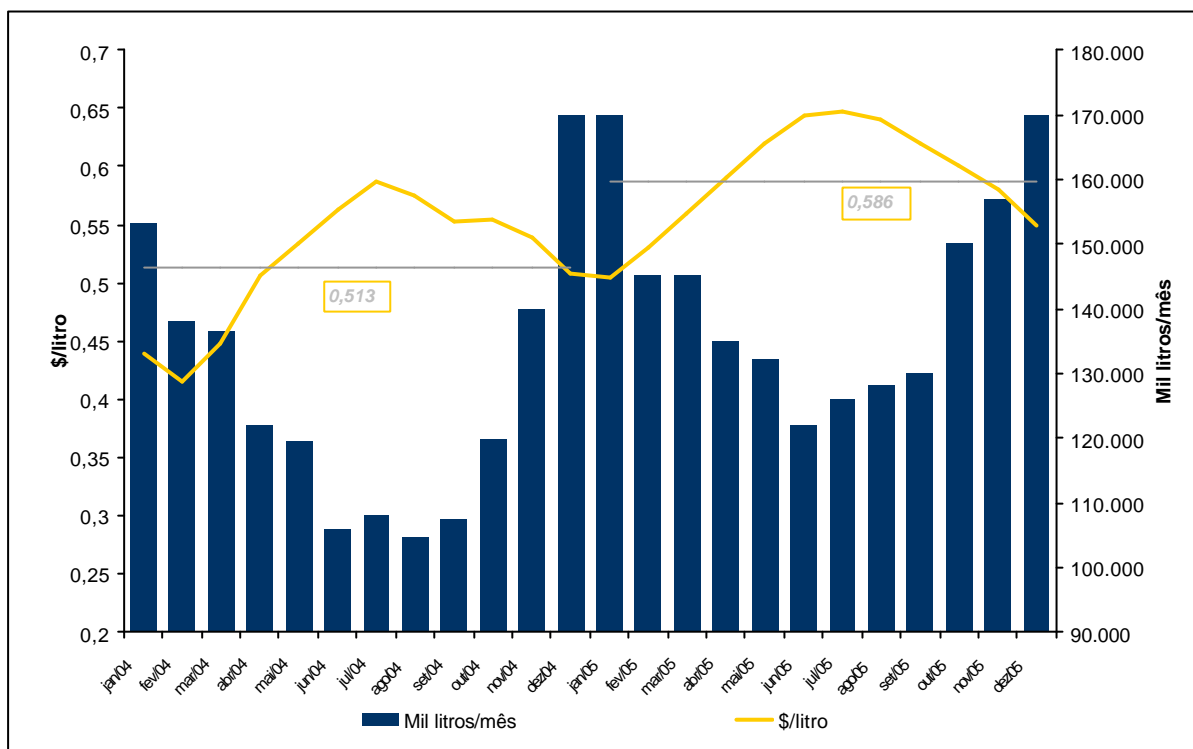


Gráfico 1.1.2.2: Curvas de sazonalidade e preço do leite.

Este Planejamento de Abastecimento de Leite é realizado, em conjunto, pelos Departamentos de *Milk Sourcing* e *Supply Chain*.

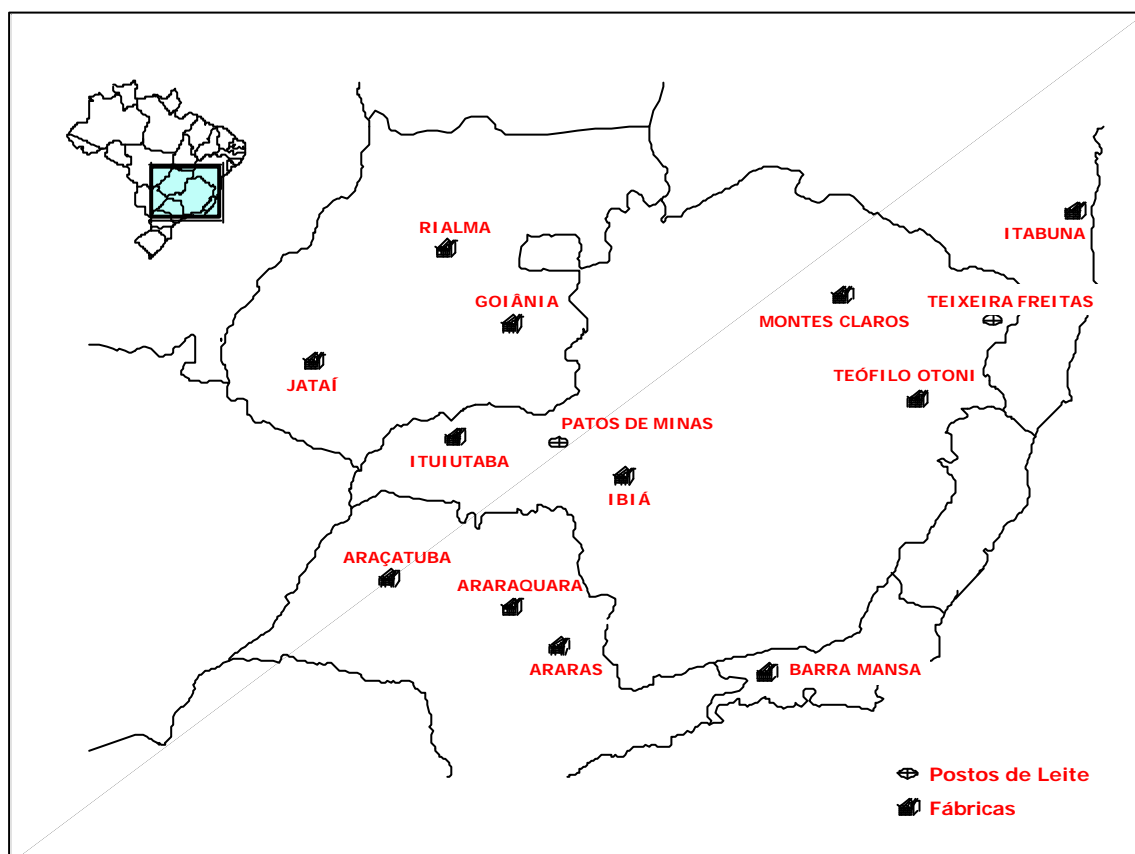
### Departamento de *Milk Sourcing*

Constituído pelas áreas Compras de Leite Próprio e de Terceiros e Controle, o Departamento de *Milk Sourcing* inclui entre as suas atividades a estimativa de preços do leite (preço estimado e efetivo em cada fábrica), a compra no mercado nacional ou importação do leite e seus componentes, a roteirização e coleta do leite nos fornecedores (fazendeiros ou

---

cooperativas/usinas) e o seu transporte até as unidades de produção da DPA-M, DPA-B, Nestlé ou Fonterra.

A oferta de leite no país está restrita a determinadas regiões, chamadas Regiões Leiteiras, que apresentam diferentes disponibilidades de leite e, portanto, a compra pelo Departamento é efetuada com base em análises de preço do leite e custo de frete da origem até as fábricas, tentando, tanto quanto possível, compatibilizar os volumes adquiridos em cada região com as demandas de suas fábricas lácteas: consumidoras de leite ou produtos lácteos (Figura 1.1.2.3).



*Figura 1.1.2.3: Fábricas lácteas e postos de leite.*

Os postos de leite, mostrados na figura anterior, são unidades receptoras de leite e encarregadas de seu armazenamento e resfriamento, para posterior transferência a uma dada

---

---

fábrica. No caso de Teixeira de Freitas, para Itabuna e Patos de Minas, de acordo com as necessidades das unidades próximas.

O fornecimento deste leite é feito por dois tipos principais de fornecedores:

- Produtores (fazendeiros): também chamados de leite próprio, abrangem cerca de 5.200 pontos de coleta de leite. Estes produtores distribuem-se em 107 setores, que podem praticar preços diferentes.
- Terceiros (cooperativas e usinas): constituem cerca de 120 pontos de coleta de leite, sendo, aproximadamente, 60 cooperativas e 60 usinas de leite. As cooperativas são agrupamentos de pequenos produtores, enquanto que as usinas compram leite de pequenos produtores para revenda.

Com os produtores é estabelecido um compromisso não formal, ou “pacto de fidelidade”, de coleta diária de leite, mantido mesmo no caso de queda de demanda por produtos lácteos, de forma que o volume de leite próprio constitui-se em um componente fixo do abastecimento de leite para a DPA-M, durante todo o ano.

A DPA-M não tem compromisso de comprar o leite das cooperativas e de grandes usinas, que podem beneficiar o seu próprio leite. Os acordos de compra firmados com terceiros são, portanto, de caráter flexível, ou seja, podem ser renovados para um determinado período limitado (a cada 15, 30 ou 60 dias) em termos de volume e preço de compra. Esta fonte de suprimento de leite caracteriza-se, então, como um componente variável que a DPA-M pode utilizar para balancear suprimento e demanda durante os diferentes períodos do ano (safra e entressafra).

A coleta do leite próprio é realizada em até 48 horas, sendo mais comum à coleta diária. Os caminhões passam nas fazendas, seguindo um roteiro pré-definido, utilizando como critério de otimização as distâncias, o custo do frete e o volume de leite fornecido por cada produtor

---

---

e elaborado por *software* comercial, *Axiadis*, até que sua capacidade total seja atingida. A carga é levada, então, até a unidade de produção pré-estabelecida.

A coleta de leite de terceiros é feita diretamente nas cooperativas e usinas. Diferentemente da coleta do leite próprio, para terceiros não há roteirização, sendo o leite, em geral, transportado do fornecedor até um ponto de captação óbvio e bem definido, baseado na localização das unidades de produção. Há casos, para os terceiros flexíveis, em que o leite pode ser entregue em pontos alternativos de captação, diferentes daqueles originalmente contratados. O redirecionamento é feito pela *DPA-M Supply Chain*, dependendo das necessidades das fábricas e das oportunidades encontradas.

A proporção entre o volume de leite próprio e de leite de terceiros varia em cada período e região, sendo o volume de leite próprio estimado a partir de dados históricos, oscilando entre 30% a 70% do volume total de leite adquirido pela DPA-M e, o restante comprado de terceiros.

Atualmente, existem seis regiões leiteiras, distribuídas da seguinte forma:

<b>Regiões</b>	<b>Regiões Leiteiras</b>	<b>Unidades de Captação</b>
Nordeste	Itabuna	Teófilo Otoni, Itabuna
	Ibiá	Montes Claros, Ibiá
Sul	Araçatuba	Araçatuba, Araraquara
	Barra Mansa	Barra Mansa
Centro-oeste	Ituiutaba	Ituiutaba, Patos de Minas
	Goiânia	Goiânia, Rialma, Jataí

*Tabela 1.1.2.1: Regiões leiteiras e unidades de captação.*

---

---

## **Departamento de *Supply Chain***

O Departamento de *Supply Chain*, onde o estudo será realizado, é responsável pela coordenação da produção no curto, médio e longo prazo, nas diferentes unidades produtivas. Esta atividade inclui o planejamento do abastecimento de leite e derivados, de forma a atender às demandas de semi-elaborados, semi-acabados e produtos acabados, bem como atender às necessidades geradas pelos programas de produção de todas as unidades produtivas.

O departamento procura garantir simultaneamente a absorção do suprimento de leite da forma mais eficiente (mínimo custo), o respeito às obrigações contratuais e a subordinação às limitações técnicas e normas de qualidade dos processos.

O processo de gerenciamento da cadeia de suprimentos consiste em identificar para cada período do horizonte de planejamento: em que unidade será produzido cada produto acabado, semi-elaborado ou semi-acabado, a origem e o destino do abastecimento de cada produto acabado, semi-elaborado ou semi-acabado e as quantidades enviadas e recebidas. Os planos de produção geram demanda por matérias-primas e espera-se que, em cada unidade produtiva, seus suprimentos sejam suficientes para suportar os mesmos, sem a necessidade de transferência de leite entre regiões leiteiras.

Compete à Nestlé, Fonterra, e DPA-B executarem o planejamento de distribuição de seus produtos acabados para abastecerem os diversos pontos de demanda (Centros de Distribuição, depósitos, etc.), a partir das diferentes unidades de produção. Por outro lado, a DPA-M *Supply Chain* é responsável pela coordenação da produção como um todo. Portanto, o processo de planejamento de produção constitui-se de um trabalho realizado conjuntamente pela DPA-M e seus clientes. Na tabela abaixo, são mostradas as fábricas lácteas em questão, bem como sua capacidade de processamento de leite e os produtos finais de cada uma:

---

---

Empresa	Fábrica	Processamento de Leite	Produto final
DPA-M	Ituiutaba-MG	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pré-condensação</li><li>▪ Secagem de leite</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Ninho</li><li>▪ Leite em pó industrial integral e desnatado</li><li>▪ Pré-condensado</li></ul>
DPA-M	Goiânia-GO	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pré-condensação</li><li>▪ Secagem de leite</li><li>▪ Extração de óleo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pré-condensado integral e desnatado</li><li>▪ Leite em pó industrial integral e desnatado</li><li>▪ <i>Butter Oil</i></li></ul>
DPA-M	Jataí-GO	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pré-condensação</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pré-condensado integral</li></ul>
DPA-M	Rialma-GO	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pré-condensação</li><li>▪ Secagem</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pré-condensado integral e desnatado</li><li>▪ Leite em pó industrial integral e desnatado</li></ul>
DPA-M	Itabuna-BA	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pré-condensação</li><li>▪ Secagem</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Ninho</li></ul>
DPA-M	Teófilo Otoni	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pré-condensação</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pré-condensado integral</li></ul>
Nestlé	Ibiá-MG	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pré-condensação</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Fórmulas infantis</li><li>▪ Ninho</li></ul>
Nestlé	Araçatuba-SP	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pré-condensação</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Molico</li><li>▪ Creme de Leite</li><li>▪ Leite Ideal</li><li>▪ Leite em pó industrial integral e desnatado</li></ul>

---



---

Empresa	Fábrica	Processamento de Leite	Produto final
Nestlé	Araraquara-SP	▪ Pré-condensação	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Leite condensado Moça</li> <li>▪ Fiesta</li> <li>▪ Produtos <i>Food Services</i> - enlatados para grandes utilizadores</li> </ul>
DPA-B	Araras Refrigerados-SP	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Iogurtes</li> <li>▪ Sobremesas</li> </ul>
DPA-B	Barra Mansa-RJ	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Iogurtes</li> <li>▪ Sobremesas</li> </ul>
Nestlé	Montes Claros-MG	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Leite condensado Moça</li> </ul>
Nestlé	Araras Leite-SP	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nescau Prontinho</li> <li>▪ Milkbar</li> </ul>

*Tabela 1.1.2.2: Fábricas lácteas, processamento de leite e produtos finais.*

## 1.2 Descrição do problema

Durante a safra, geralmente há excesso de suprimento de leite, de forma que, neste período, este fator é o que determina mais fortemente o planejamento de produção. Na entressafra, ao contrário, com a escassez de leite, a demanda torna-se o fator dominante. Esta sazonalidade de oferta de leite serve como premissa para o planejamento estratégico da produção. Para auxiliar neste processo, o Departamento conta com *software* de otimização - *Optimum*, o qual tem sido desenvolvido em conjunto com a empresa “Linear Softwares Matemáticos”.

O *Optimum* é a implementação computacional de um modelo matemático de otimização, cujo objetivo é o de sugerir os volumes ideais de compra, venda, produção e estocagem dos

---

---

produtos comercializados e consumidos pelas empresas Nestlé, Fonterra, DPA Brasil e *Manufacturing*, para o planejamento estratégico (longo prazo) e tático (médio prazo).

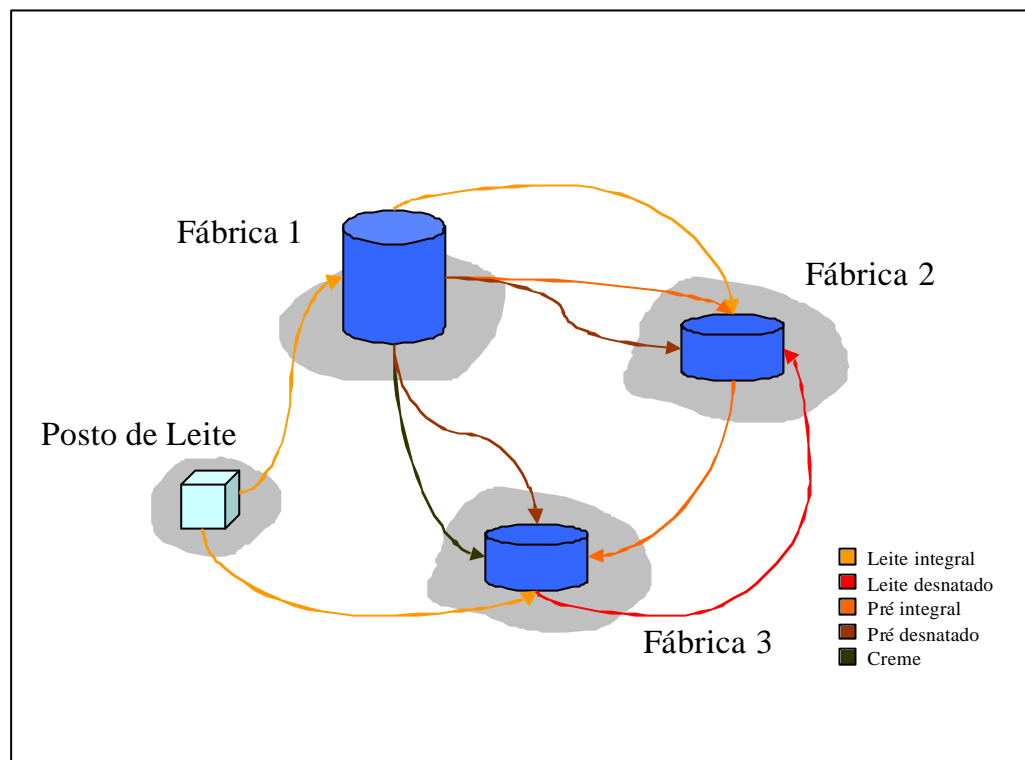
Normalmente, a especificação destes volumes busca a operação que maximize o lucro operacional no período analisado. Para isso, o modelo considerará simultaneamente custos, margens, estratégias, mercados, sazonalidades, custo de capital, etc. Escolhe, entre todos os conjuntos possíveis de produtos, aquele que apresentar o melhor resultado financeiro para a empresa, obedecendo todas as restrições técnicas ou estratégicas impostas. A partir de previsões mensais de demanda (mínimo e máximo por produto ou grupo de produtos), o modelo sugerirá os níveis ótimos de compra, venda e estocagem dos mesmos, em cada mês do horizonte de estudo, bem como os volumes semanais de eventuais pedidos de empréstimos ou aplicações financeiras, dependendo do contexto.

Entretanto, não é suficiente compatibilizar apenas as metas de consumo e suprimento de leite dentro de cada mês. É necessário que haja um equilíbrio diário entre a demanda e o suprimento de leite. Com isso, na prática, é necessário um balanço lácteo diário para cada fábrica Láctea.

O Departamento de *Supply Chain* tenta compatibilizar as demandas e suprimentos de matérias primas (informações de previsão de entrada de leite gerada pelo *Milk Sourcing*), estabelecendo a programação diária de suprimento de leite fresco (leite integral e semi-elaborados: leite desnatado, pré-condensado integral, pré-condensado desnatado e creme) – a distribuição, a qual define as quantidades de insumos a serem enviados ou transferidos entre as fábricas, além de programar a produção de semi-elaborados. A figura a seguir (Figura 1.2.1) exemplifica as transferências de insumos entre fábricas (programa de produção de pré-condensado definido pelo Departamento de *Supply Chain*).

Os arcos da figura representam as possibilidades de envio de leite e semi-elaborados entre as fábricas em questão. As áreas cinzas ao redor das unidades representam as regiões leiteiras que as abastecem de leite integral.

---



*Figura 1.2.1: Exemplo de distribuição de leite integral e semi-elaborados entre unidades.*

O processo de programação diária de suprimento de leite e derivados ocorre a fim de garantir para cada dia do horizonte de planejamento, que:

- Exista suprimento necessário de matérias-primas (leite fresco), que viabilize o cumprimento da programação diária de produção de cada fábrica láctea, respeitando restrições de capacidade, qualidade e eficiência;
- Os volumes de leite comprados sejam absorvidos pelos clientes (Nestlé, DPA-B e Fonterra).

A programação diária de suprimento de leite é realizada semanalmente, detalhando diariamente as quantidades de:

---

- 
- Leite integral e desnatado, de fornecedores próprios e de terceiros, a serem captadas em cada ponto dentro de cada região leiteira;
  - Leite integral e desnatado a serem transferidas entre fábricas;
  - Leite pré-condensado integral e desnatado e creme a serem produzidas em cada unidade;
  - Leite pré-condensado integral e desnatado e creme a serem transferidas entre fábricas;

As fábricas enviam sua programação mensal (para um horizonte quadrimestral, detalhado dia-a-dia), a ser avaliada semanalmente (às quintas-feiras), a fim de que sejam confirmadas as demandas das fábricas por leite fresco. Estas demandas são geradas a fim de atender à produção programada diariamente, visando obter o máximo de eficiência e qualidade nas linhas de produção.

A distribuição, alocação e transferências de leite fresco às diferentes fábricas, normalmente, baseia-se num critério de menor distância, obedecendo a uma seqüência de prioridades estabelecidas com a experiência e que visam, na medida do possível, atender às restrições técnicas, econômicas e de qualidade das diferentes unidades produtivas, não contando com nenhuma ferramenta de otimização.

A distribuição de produtos semi-acabados (leite em pó integral, leite em pó desnatado e *butter oil*) se dá conforme solicitação das fábricas e do planejamento operacional anual. As cargas são enviadas levando-se em conta o estoque de cada fábrica produtora: prazo de validade e volume (capaz ou não de atender a tal demanda), além da distância entre as unidades em questão. Sendo assim, não seriam necessárias ferramentas otimizadoras para realizar esta distribuição, apenas um controle de estoque eficiente.

Entretanto, para o leite fresco, em se tratando de um alto volume diário de transferências (o volume diário médio, somente de leite integral, corresponde a 5.000 toneladas), seria necessária ferramenta para auxiliar e otimizar a realização da distribuição, analisando os custos de transporte e alocação de produção das fábricas pré-condensadoras (Goiânia, Rialma, Jataí e Teófilo Otoni).

---

---

Portanto, o problema a ser estudado e otimizado será a distribuição do leite integral excedente e proveniente dos Postos Leiteiros e dos produtos semi-elaborados. Para isso, é necessário, também, definir a produção das fábricas pré-condensadoras de Rialma, Goiânia, Jataí e Teófilo Otoni, de acordo com a necessidade das outras unidades.

Além disso, a distribuição realizada atualmente não considera o sequenciamento de entrega e carregamento de cargas, o que no momento fica a cargo de cada fábrica. Desta forma, temos elevados tempos de espera para descarregamento de leite fresco. Considerações:

- Considerando as operações de recepção, análises, descarga, limpeza e liberação dos equipamentos para o transporte de leite, o tempo médio de espera tolerado deveria ser de no máximo 6 horas. Os resultados apresentados estão 23% acima;
- Considerando as operações de recepção, análises, descarga, limpeza e liberação dos equipamentos para o transporte de semi-elaborados, o tempo médio de espera tolerado deveria ser de no máximo 7 horas. Os resultados apresentados estão 50% acima;
- Os tempos de espera na descarga acima do tolerável, causam impacto direto nos custos de operação das transportadoras de leite, as quais tendem a repassar esses custos para a tarifa de transporte, impactando diretamente nos custos de captação de leite e matéria-prima.
- A matéria-prima estocada nos tanques (transporte) desde a carga na origem, levando-se em conta o tempo de percurso e o tempo de espera para a descarga (considerar o fato do aumento da temperatura em até 2°C a cada 10 horas) sofre perdas na qualidade.

Há de se levar em consideração, também, o fato de se ocorrer uma deterioração na relação entre a empresa e as transportadoras, fazendo que as exigências de serviços mais adequados, como tipo e tamanho de veículos, bem como horários a cumprir (determinados pelas fábricas), acabem sendo deixadas em segundo plano. Portanto, há a necessidade do modelo considerar os tempos de percurso, horários de saída e chegada em cada fábrica, de cada carga.

---

---

Como intuito de resolver o problema apresentado, são descritos casos práticos e estudos relacionados ao tema proposto. Em seguida, é apresentado o modelo matemático para resolução do problema e são levantadas e discutidas hipóteses relativas à construção do mesmo, conforme mostrado nas seções que se seguem.

---

---

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Conforme Colin *et al* (1999), a utilização da modelagem matemática em sistemas de produção brasileiras tem se tornado freqüente. Podemos citar exemplos como Taube-Netto (1996) e Yoshizaki *et al.* (1996). Uma das possíveis razões para que isso aconteça é que a classe empresarial esteja interessada na eficácia operacional, ou melhor, esteja sendo forçada a se interessar devido aos efeitos da competição mais acirrada e mais profissional. Outro fator que pode ser ressaltado é que devido à pequena utilização de ferramentas desse tipo no Brasil, surjam oportunidades de melhorias simples e que necessitam de desenvolvimento muito além do disponível na literatura clássica, para sua solução e implementação.

A modelagem matemática consiste na representação de um sistema real por meio do uso de lógica e de ferramentas matemáticas, de forma que as melhores condições de operação do sistema possam ser determinadas. Se existem  $n$  decisões a serem tomadas, então se associa a cada decisão uma variável denominada *variável de decisão*. Para expressar a medida de desempenho do modelo, deve-se associar uma função numérica das variáveis de decisão, denominada *função objetivo*. As limitações de recursos envolvidos no sistema são traduzidas através de equações ou inequações denominadas *restrições do modelo*, podendo ser tanto de natureza quantitativa, quanto de natureza lógica (Goldbarg & Luna; 2000).

Os modelos matemáticos têm muitas vantagens sobre a descrição verbal do problema. Uma vantagem óbvia é que o modelo matemático descreve o problema muito mais concisamente. Isto tende a tornar a estrutura geral do problema mais compreensível e ajuda a revelar importantes relações causa-efeito. Desta maneira, ele indica mais claramente que outros dados são relevantes para a análise. Também facilita lidar com o problema na sua totalidade e considerar todas as suas inter-relações simultaneamente. (Hillier & Lieberman, 1995).

A formulação matemática de inúmeros problemas, incluindo a utilizada no presente trabalho, recai num conjunto de modelos de fluxo em redes, conforme apresentado na seção subsequente.

---

---

## 2.1 Problemas relacionados

De uma maneira geral, os denominados modelos em redes permitem a solução de importantes problemas reais e são de extraordinária aplicação prática. Na dimensão da solução, esses modelos permitem o aperfeiçoamento de conhecidas e tradicionais técnicas, de modo a alcançarem uma enorme eficiência no seu processo de resolução. Abordam o processo de otimização da distribuição de produtos originados em pontos de oferta e consumidos em pontos de demanda dentro de uma rede de interligações possíveis (Goldbarg & Luna; 2000).

Dentre alguns problemas que utilizam a formulação de fluxo em redes e que foram utilizados como base para a construção do modelo proposto por este trabalho, pode-se citar:

1. *Problema do fluxo de custo mínimo.* Pretende-se determinar o menor custo de envio de uma mercadoria através de uma rede, de forma a satisfazer a procura em determinados nós a partir da oferta em outro, atendendo a restrições de capacidade nos arcos.
2. *Problema de transportes.* Pretende-se determinar a forma mais econômica de enviar diretamente a mercadoria produzida em vários locais (fábricas), em quantidades limitadas (oferta), para os clientes que se encontram geograficamente dispersos, cada um com uma procura a satisfazer, tendo em conta a oferta de cada um dos locais.

Além da formulação em fluxos de redes o trabalho baseou-se em um modelo de planejamento da produção com múltiplos períodos. Neste tipo de modelo tem-se por objetivo o planejamento da produção em vários períodos, sendo necessário distinguir entre produzir ou armazenar.

Diversas aplicações práticas sobre estes temas já foram ou estão sendo tratadas por diferentes autores. Os casos a seguir foram extraídos da literatura disponível.

---



---

### **2.1.1 Modelo de programação de produção em múltiplas plantas, múltiplos armazéns com capacidades extensíveis**

Jolayemi & Olorunniwo (2003) apresenta um modelo, desenvolvido de forma teórica (sem aplicação específica), com variáveis binárias para o planejamento da produção e de transporte entre diversas plantas e depósitos com capacidades extensíveis.

O sistema visa determinar o *mix* de produção que maximiza o lucro dentro de um horizonte finito (múltiplos períodos). Além disso, permite subcontratações quando a produção é insuficiente para atendimento da demanda.

As semelhanças encontradas entre este sistema e o estudado nesse trabalho (modelo proposto) pode ser verificada no que tange o planejamento da produção e transporte entre múltiplas plantas, em múltiplos períodos, além do fato de ambos considerarem a possibilidade de contratação externa para atendimento completo da demanda, quando não for possível o abastecimento interno por limitações de capacidade. Esta última característica, entretanto, também difere os modelos, já que para a inclusão dessa possibilidade, neste sistema, houve a utilização de variáveis binárias, enquanto que o modelo proposto lida apenas com variáveis reais.

Outra característica que diferencia os modelos está no fato de um objetivar a maximização do lucro, enquanto o outro busca a minimização dos custos (modelo proposto).

### **2.1.2 Otimização da distribuição e armazenagem de açúcar em uma usina**

Colin *et al.* (1999) ilustra a aplicação de programação linear a um sistema logístico de distribuição de açúcar, para uma única usina. Para um intervalo de 13 meses, o sistema leva em considerações capacidades de estocagem dos diversos depósitos, capacidade de produção da usina, bem como os custos envolvidos no transporte.

---

---

O sistema, implantado em paralelo com um sistema convencional, considera as peculiaridades do negócio, tratando da sazonalidade da produção e definindo a demanda baseada na produção, por uma característica do tipo do produto (*commodity*).

Embora o problema tratado no presente trabalho esteja diretamente ligado a uma produção sazonal durante o ano (sazonalidade do leite), o modelo trabalha com o plano operacional de produção e, não, estratégico, como ilustrado por Colin *et al.* (1999). Entretanto, por trabalhar com produto que apresenta característica semelhante, tem-se a demanda baseada, em alguns casos, na produção. Tal fato ocorre com fábricas que trabalham como pulmões, absorvendo variações em relação ao volume de entrada de leite.

### **2.1.3 Otimização do transporte e estocagem de produtos finais da indústria de açúcar e álcool**

Kawamura (2000) desenvolveu um estudo focado em um modelo de programação linear com múltiplos períodos, múltiplos produtos, o qual tem por finalidade determinar a solução ótima de produção, transporte e estocagem para cada período dentro do sistema logístico de uma cooperativa de produtores de cana, açúcar e álcool.

O plano de produção envolve decisões relacionadas à distribuição do *mix* de produção entre as diversas plantas, considerando suas capacidades individuais, necessidade total de estocagem externa, fato este não considerado pelo sistema estudado neste trabalho, e gerenciamento de estoque de cada planta.

### **2.1.4 Otimização de produção e distribuição em uma indústria de manufatura**

Gutierrez (1996) apresenta um modelo voltado à minimização dos custos de armazenagem, produção, distribuição e não-atendimento da demanda. O modelo apresentado, diferentemente do modelo estudado nesse trabalho aborda processos intermediários, abrangendo todas as etapas do processo produtivo, desde armazenagem de matéria-prima até

---

---

distribuição, passando pelo processo produtivo e de embalagem e armazenagens intermediárias. Além disso, considera limitações como necessidade de matéria-prima, capacidade de armazenagem e produção, atendimento da demanda e estoque final desejado.

### **2.1.5 Planejamento de produção e distribuição em uma cadeia de suprimentos**

Lee & Kim (2002) sugerem a adoção de um modelo híbrido, combinando modelos analíticos e de simulação. O sistema proposto, com múltiplos períodos, produtos e plantas, trata de um modelo de distribuição na cadeia de suprimentos visando o atendimento da demanda nos diferentes períodos.

Neste caso, o estudo consiste na elaboração de sistemas independentes, analítico e de simulação, de todo o sistema. Primeiramente é otimizado o sistema analítico e o resultado é inserido como parâmetro de entrada para o simulador, o qual, por sua vez, retro-alimenta o sistema analítico. Este processo continua iterativamente até a obtenção do resultado esperado. Poderia-se utilizar método similar de retro-alimentação no modelo estudado, na medida em que um sistema de simulação poderia propor horários de entrada de leite. Entretanto, os dados sobre horários de entrada de leite nas fábricas, proveniente das regiões leiteiras, são fornecidos por sistema de roteirização, conforme comentado em capítulos próximos.

---

---

### **3. MODELO PROPOSTO**

Este capítulo tem por finalidade a apresentação do modelo de otimização proposto para o problema apresentado na seção 1.2. Para isso, primeiramente há uma descrição geral do modelo, seguida pelo levantamento de hipóteses e premissas adotadas para o mesmo. Após esta etapa são relacionados os índices, variáveis e parâmetros utilizados em sua formulação e, finalmente, os conjuntos de equações, que definem a função objetivo e as restrições do sistema, são comentados e detalhados.

#### **3.1 Descrição do modelo**

O objetivo deste modelo de programação linear é de minimizar os custos de transporte de leite fresco entre as fábricas e efetuar a distribuição levando em conta o tempo de produção de cada produto e os horários de entrega, segundo solicitação da fábrica receptora. Levará em conta a distribuição do leite integral excedente e proveniente dos Postos Leiteiros e os produtos semi-elaborados (pré-condensado integral, pré-condensado desnatado e creme) entre as fábricas. Para isso, é necessário também definir a produção das fábricas pré-condensadoras de Rialma, Goiânia, Jataí e Teófilo Otoni, de acordo com a necessidade das outras unidades.

Além disso, a distribuição realizada atualmente não considera o horário de entrega e carregamento de cargas, o que no momento fica a cargo de cada fábrica. No modelo, entretanto, este problema será tratado de forma a programar as cargas de acordo com a demanda e capacidade de produção das unidades e horários ideais de produção e recebimento.

Como resultado final, será possível saber em cada período estudado:

- A quantidade a ser produzida de cada produto, em cada fábrica, em cada linha, em cada período;
-

- 
- A quantidade recebida de cada produto, por cada fábrica, em cada período;
  - Os custos envolvidos em cada uma das operações de transporte.

### 3.2 Hipóteses adotadas

O modelo assume certas premissas, as quais são descritas a seguir:

- I. Todos os produtos, exceto o creme são trabalhados em valores equivalentes em leite. Além de ser o método atualmente utilizado nas fábricas, o que facilitaria a implantação do modelo, não exige a conversão e aproximação de valores. O creme recebe tratamento à parte, por ser um subproduto do desnate.
  - II. O termo estoque é utilizado no modelo, mas trata-se apenas de armazenamento de leite integral entre ciclos de produção, não sendo possível o estoque do mesmo em longos períodos, já que se trata de produto altamente perecível.
  - III. O período utilizado no modelo corresponde a uma hora e estende-se por uma semana, mais um dia (cento e noventa e dois períodos), tempo em que a previsão de entrada de leite pelas regiões leiteiras, em cada fábrica, é estipulado e as necessidades de cada fábrica são relatadas (uma semana), mais um dia para contemplar o tempo de trânsito entre as fábricas. Por exemplo, as demandas serão dadas de segunda a domingo, entretanto, parte da produção e expedição para atender a demanda da segunda-feira de uma determinada fábrica, dependendo da unidade que a abastecerá, do tempo de percurso e horário de recebimento, deve ser feita no domingo anterior.
  - IV. Foram definidos dois tipos de envio por cada fábrica: transferência e saída. O primeiro, trata-se de envio de um determinado produto (oferta) de uma fábrica para outra, tendo em vista quantidade e período já definidos, antes da distribuição efetivamente. Esta oferta corresponde, geralmente, a uma sobra de algum processo de uma fábrica Nestlé ou retrabalho de alguma fábrica DPA – *Manufacturing* e é informado com antecedência pelas mesmas (trata-se de um parâmetro do sistema e não de uma variável). O segundo corresponde a uma variável do sistema (produção das fábricas, conforme mencionado
-

---

anteriormente, de Rialma, Goiânia, Jataí e Teófilo Otoni), sendo definido de acordo com as necessidades das fábricas e horários.

- V. As fábricas podem tanto fornecer, como receber produtos, através de transferências e saídas (ofertas e produção, respectivamente). Desta maneira, no modelo, serão tratadas como  $f$  e  $f'$ , sendo que, quando  $f$  e  $f'$  corresponderem a um mesmo número, estarão se referindo à mesma fábrica.
- VI. As ofertas, produções e demandas possuem um horário ideal para serem efetivadas, mas não necessariamente precisam de um horário rígido. Desse modo, as ofertas e demandas são calculadas no sistema de forma diária e, não em períodos. Estes apenas são definidos como ideais através de penalidades ao não cumprimento dos mesmos.
- VII. Considerou-se o custo de produção de cada produto igual em todas as fábricas.
- VIII. Os produtos semi-acabados (leite pó integral, leite em pó desnatado e *butter oil*) não são tratados pelo modelo, já que a produção é definida pelo programa operacional da empresa. Dessa forma, quando produzidos, a capacidade da fábrica no período em questão sofrerá o ajuste necessário, já que, para a produção dos mesmos, com exceção do *butter oil* (linha de produção específica), as mesmas linhas de produção são utilizadas.
- IX. Os Postos Leiteiros de Patos de Minas e Teixeira Freitas serão tratados como fábricas pelo modelo (ofertam leite).
- X. Foram incluídos dois fornecedores no sistema: Fornecedor 1 e Fornecedor 2. Neste caso, posicionam-se também como fábricas e funcionam como reguladores de compra extra de produtos através de fornecedores externos e não regulares. Além disso, podem, hipoteticamente, ofertar ou demandar determinada quantidade de algum produto para ajustar a demanda em relação à oferta, tornando um possível cenário inviável, em viável.

### **3.3 Relação de índices, variáveis e parâmetros**

A tabela a seguir mostra a nomenclatura e os índices utilizados na modelagem:

---

---

Índice	Descrição	Intervalo	Valor
$v$	Produto	$(1,...,V)$	$V = 5$
$(1,2,3,4,5) = (\text{leite integral, leite desnatado, pré-condensado integral, pré-condensado desnatado, creme})$			
$f; f'$	Fábricas	$(1,...,F)$	$F = 17$
$(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17) = (\text{Ituiutaba, Goiânia, Rialma, Jataí, Teófilo Otoni, Itabuna, Araras Leite, Araras Refrigerados, Araraquara, Araçatuba, Barra Mansa, Ibiá, Montes Claros, Patos de Minas, Confepar, Fornecedor 1, Fornecedor 2})$			
$d$	Dia	$(2,...,D)$	$D = 8$
$l$	Linha de produção	$(1,...,L)$	$L = 2$
$p$	Período	$(1,...,P)$	$P = 192$
$j$	Variável auxiliar	-	-

*Tabela 3.3.1: Tabela de índices.*

Segue tabela descritiva das variáveis do modelo:

Símbolo	Descrição	Unidade
$CF1$	Custo total de frete das saídas dos produtos $v$ , das fábricas $f$ , para as fábricas $f'$ , nos períodos $p$	R\$/ton
$CF2$	Custo total de frete das transferências dos produtos $v$ , das fábricas $f$ , para as fábricas $f'$ , nos períodos $p$	R\$/ton
$PA$	Penalidade total, em relação ao horário ideal, para as ofertas dos produtos $v$ , das fábricas $f$ , nos períodos $p$	-
$PB$	Penalidade total, em relação ao horário ideal, para as produções dos produtos $v$ , das fábricas $f'$ , nos períodos $p$	-

---

---

Símbolo	Descrição	Unidade
$PC$	Penalidade total, em relação ao horário ideal, para as produções dos produtos $v$ , das fábricas $f$ , nas linhas $l$ , nos períodos $p$	-
$PD$	Penalidade total, em relação ao horário ideal, para as demandas dos produtos $v$ , das fábricas $f$ , nos períodos $p$	-
$PE$	Penalidade total por produção ociosa dos produtos $v$ , das fábricas $f$ , nos períodos $p$	-
$PF$	Penalidade total por produção ociosa dos produtos $v$ , das fábricas $f$ , nas linhas $l$ , nos períodos $p$	-
$P_{vfp}$	Produção do produto $v$ na fábrica $f$ no período $p$	Ton
$PL_{vflp}$	Produção do produto $v$ na fábrica $f$ na linha $l$ no período $p$	Ton
$S_{vff'p}$	Saída do produto $v$ da fábrica $f$ para a fábrica $f'$ no período $p$	Ton
$TR_{vff'p}$	Transferência do produto $v$ da fábrica $f$ para a fábrica $f'$ no período $p$	Ton
$OF_{vfp}$	Oferta do produto $v$ na fábrica $f$ no período $p$	Ton
$DF_{vfp}$	Demanda do produto $v$ na fábrica $f$ no período $p$	Ton
$ET_{fp}$	Estoque de leite integral na fábrica $f$ no período $p$	Ton
$FT_{vfp}$	Diferença entre a capacidade máxima de produção do produto $v$ na fábrica $f$ no período $p$ e a produção efetiva	Ton
$FTL_{vflp}$	Diferença entre a capacidade máxima de produção do produto $v$ na fábrica $f$ na linha $l$ no período $p$ e a produção efetiva	Ton
$K$	Variável auxiliar	-

*Tabela 3.3.2: Tabela de variáveis.*

Segue tabela descritiva dos parâmetros do modelo:

---



<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>
$OD_{vfd}$	Oferta diária do produto $v$ na fábrica $f$ no dia $d$	Ton
$DD_{vfd}$	Demanda diária do produto $v$ na fábrica $f$ no dia $d$	Ton
$VL_{fp}$	Volume de leite abastecido pela Região Leiteira na fábrica $f$ no período $p$	Ton
$ET_{lf}$	Estoque inicial de leite integral na fábrica $f$	Ton
$ETM_{ff}$	Estoque máximo de leite integral na fábrica $f$	Ton
$CP_{vfp}$	Capacidade máxima de produção do produto $v$ na fábrica $f$ no período $p$	Ton
$CPL_{vflp}$	Capacidade máxima de produção do produto $v$ na fábrica $f$ na linha $l$ período $p$	Ton
$CS_{vff'p}$	Custo de frete da saída do produto $v$ da fábrica $f$ para a fábrica $f'$ no período $p$	R\$/ton
$CT_{vff'p}$	Custo de frete da transferência do produto $v$ da fábrica $f$ para a fábrica $f'$ no período $p$	R\$/ton
$Av_{fp}$	Fator penalizador de horário para oferta do produto $v$ da fábrica $f$ no período $p$	-
$Bv_{fp}$	Fator penalizador de horário para produção do produto $v$ da fábrica $f$ no período $p$	-
$Cv_{flp}$	Fator penalizador de horário para produção do produto $v$ da fábrica $f$ na linha $l$ no período $p$	-
$Dv_{fp}$	Fator penalizador de horário para demanda do produto $v$ na fábrica $f$ no período $p$	-
$Ev_{fp}$	Fator penalizador de volume de produção do produto $v$ da fábrica $f$ no período $p$ (ociosidade)	-
$Fv_{flp}$	Fator penalizador de volume de produção do produto $v$ da fábrica $f$ na linha $l$ no período $p$ (ociosidade)	-
$D_{pff'}$	Tempo de percurso, em períodos, entre as fábricas $f$ e $f'$	Período (p)

*Tabela 3.3.3: Tabela de parâmetros.*

---

### 3.4 Modelo

A formulação do problema, através de um modelo de programação linear, tem como objetivo minimizar os custos de transporte e otimizar os horários de envio e recebimento dos diversos tipos de produto, respeitando as limitações do sistema estudado e atendendo por completo as demandas das fábricas.

Função objetivo (as equações serão explicadas nas seções subseqüentes 3.4.1 e 3.4.2):

$$\text{MIN } Z = CF1 + CF2 + PA + PB + PC + PD + PE + PF \quad (1)$$

Onde:

$$CF1 = \sum_v^V \sum_{f=1}^F \sum_{f'=1}^F \sum_{p=1}^P S_{vff'p} \cdot CS_{vff'p} \quad (2)$$

$$CF2 = \sum_v^V \sum_{f=1}^F \sum_{f'=1}^F \sum_{p=1}^P TR_{vff'p} \cdot CT_{vff'p} \quad (3)$$

$$PA = \sum_{v=1}^V \sum_{f=1}^F \sum_{p=1}^P OF_{vfp} \cdot A_{vfp} \quad (4)$$

$$PB = \sum_{v=1}^V \sum_{f=1}^F \sum_{p=1}^P P_{vfp} \cdot B_{vfp} \quad (5)$$

---

---


$$PC = \sum_{v=1}^V \sum_{f=1}^F \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P PL_{vflp}.C_{vflp} \quad (6)$$

$$PD = \sum_{v=1}^V \sum_{f=1}^F \sum_{p=1}^P DF_{vfp}.D_{vfp} \quad (7)$$

$$PE = \sum_{v=1}^V \sum_{f=1}^F \sum_{p=1}^P FT_{vfp}.E_{vfp} \quad (8)$$

$$PF = \sum_{v=1}^V \sum_{f=1}^F \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P FTL_{vflp}.F_{vflp} \quad (9)$$

Sujeito a:

$$P_{vfp} = \sum_{f'=1}^F S_{vff'p} \quad (10)$$

$$v=(2,...,4); f=(2,...,5); p=(1,...,P)$$

$$OF_{vfp} = \sum_{f'=1}^F TR_{vff'p} \quad (11)$$

$$v=(1,...,V); f=(1,...,F); p=(1,...,P)$$


---

---


$$DF_{vfp} = \sum_{f'=1}^F TR_{vf'f}(p - \Delta p_{f'f}) + \sum_{f'=1}^F S_{vf'f} p (p - \Delta p_{f'f}) \quad (12)$$

$$v=(1,...,V); f=(1,...,F); p=(25,...,P)$$

$$DD_{vfd} = \sum_{p=24.d-23}^{24.d} DF_{vfp} \quad (13)$$

$$v=(1,...,V); f=(2,...,F); d=(2,...,D)$$

$$OD_{vfd} = \sum_{p=24.d-23}^{24.d} OF_{vfp} \quad (14)$$

$$v=(1,...,V); f=(1,...,F); d=(2,...,D)$$

$$\sum_{p=k-11}^{k+12} DF_{31p} + \sum_{p=k-11}^{k+12} DF_{41p} \leq 1,1. \left( \sum_{p=k-11}^{k+12} DF_{11p} + \sum_{p=k-11}^{k+12} VL_{1p} \right) \quad (15)$$

$$k=(12,...,180)$$

$$\sum_{p=k-11}^{k+12} DF_{31p} + \sum_{p=k-11}^{k+12} DF_{41p} \leq 0,7. \left( \sum_{p=k-11}^{k+12} DF_{11p} + \sum_{p=k-11}^{k+12} VL_{1p} \right) \quad (16)$$

$$k=(12,...,180)$$


---

---


$$\sum_{p=k-11}^{k+12} DF_{31p} \geq 0,3. \sum_{p=k-11}^{k+12} DF_{41p} \tag{17}$$

$$k=(12,...,180)$$

$$DF_{v1p} = \sum_{f=2}^F P_{vf(p-\Delta p_{f1})} + \sum_{f=2}^F OF_{vf(p-\Delta p_{f1})} - \sum_{f=2}^F DF_{vfp} \tag{18}$$

$$v=(1,...,4); p=(25,...,P)$$

$$\sum_{v=1}^V \sum_{p=24.d-23}^{24.d} DF_{v1p} \leq 1900 \tag{19}$$

$$d=(2,...,D)$$

$$DF_{1fp} \leq \sum_{f'=1}^F OF_{1f'(p-\Delta p_{f'f})} \tag{20}$$

$$f=(2,...,5); p=(25,...,P)$$

$$ET_{f0} = ETI_f \tag{21}$$

$$f=(1,...F)$$


---

---

$$\sum_{v=2}^4 P_{vfp} = VL_{fp} + \sum_{f'=1}^F TR_{1f'f(p-\Delta p_{ff'})} + ET_{f(p-1)} - ET_{fp} \quad (22)$$

$$f=(2,...,5); p=(1,...,P)$$

$$ET_{fp} \leq ETM_f \quad (23)$$

$$f=(2,...,5); p=(1,...,P)$$

$$P_{vfp} \leq CP_{vfp} \quad (24)$$

$$v=(2,...,4); f=(3,...,5); p=(1,...,P)$$

$$P_{vfp} = CP_{vfp} - FT_{vfp} \quad (25)$$

$$v=(2,...,4); f=(3,...,5); p=(1,...,P)$$

$$P_{v2p} = \sum_{l=1}^2 PL_{v2lp} \quad (26)$$

$$v=(2,...,4); p=(1,...,P)$$

$$PL_{v2lp} \leq CPL_{v2lp} \quad (27)$$

$$v=(2,...,4); l=(1,...,L); p=(1,...,P)$$


---

---

$$PL_{v2lp} = CPL_{v2lp} - FTL_{v2lp} \quad (28)$$

$$v=(2,...,4); l=(1,...,L); p=(1,...,P)$$

$$PL_{321p} \leq CPL_{321p} - \sum_{j=p-5}^{p-1} PL_{321j} \quad (29)$$

$$p=(1,...,P)$$

$$PL_{v22p} \leq CPL_{v22p} - \sum_{v=3}^4 \sum_{j=p-5}^{p-1} PL_{v22j} \quad (30)$$

$$v=(3,...,4); p=(1,...,P)$$

$$P_{33p} \leq CP_{33p} - \sum_{v=3}^4 \sum_{j=p-7}^{j-1} P_{v3j} \quad (31)$$

$$p=(1,...,P)$$

$$P_{43p} \leq CP_{43p} - \sum_{v=3}^4 \sum_{j=p-9}^{j-1} P_{v3j} \quad (32)$$

$$p=(1,...,P)$$


---

---

$$P_{34\,p} \leq CP_{34\,p} - \sum_{v=3}^4 \sum_{j=p-4}^{j-1} P_{v4\,j} \tag{33}$$

$$p=(1,...,P)$$

$$P_{35\,p} \leq CP_{35\,p} - \sum_{v=3}^4 \sum_{j=p-3}^{j-1} P_{v5\,j} \tag{34}$$

$$p=(1,...,P)$$

$$P_{5\,fp} = 0,036.0,44.P_{4\,fp} \tag{35}$$

$$f=(2,...,3); \, p=(1,...,P)$$

$$DF_{52\,p} = \sum_{f=2}^F P_{5\,f\,(p-\Delta_{pf\,2})} - \sum_{f=4}^F DF_{5\,fp} \tag{36}$$

$$p=(25,...,P)$$

$$ET_{fp} \geq 0 \tag{37}$$

$$f=(2,...,5); \, p=(1,...,P)$$

---



---


$$FT_{vfp} \geq 0 \quad (38)$$

$$v=(2,...,4); f=(2,...,5); p=(1,...,P)$$

$$FTL_{vflp} \geq 0 \quad (39)$$

$$v=(2,...,4); f=2; l=(1,...,L); p=(1,...,P)$$

$$S_{vff'p} \geq 0 \quad (40)$$

$$v=(2,...,4); f=(2,...,5); f'=(1,...,F); p=(1,...,P)$$

$$TR_{vff'p} \geq 0 \quad (41)$$

$$v=(1,...,V); f=(1,...,F); F'=(1,...,F); p=(1,...,P)$$

### 3.4.1 Função Objetivo

A equação (1) representa a função objetivo a ser minimizada, sendo composta pelos seguintes termos:

A equação (2) representa o custo total de frete das saídas dos produtos  $v$ , das fábricas  $f$ , para as fábricas  $f'$ , nos períodos de  $p=1$  à  $p=192$ , sendo calculado através da multiplicação da quantidade enviada pelos respectivos custos unitários em cada período. Da mesma maneira, a equação (3) representa o custo total de frete das transferências dos produtos  $v$ , das fábricas  $f$  para as fábricas  $f'$ , nos períodos de  $p=1$  à  $p=192$ , sendo calculado da mesma forma.

---

---

A equação (4) representa uma penalidade para a oferta de produto  $v$  da fábrica  $f$  para a fábrica  $f'$ , no período  $p$ . Ou seja, há um horário ideal para a efetivação deste envio, representado por um período  $p$  em questão. Caso o envio desta oferta seja realizado antes ou depois será atribuída criteriosamente uma penalidade.

Da mesma forma, as equações (5) e (6) também atribuem uma penalidade para descumprimento do horário ideal. Neste caso, para a primeira equação (5), é atribuída penalidade em relação ao horário de produção do produto  $v$ , na fábrica  $f$ , no período  $p$ . Para a segunda (6), é atribuída penalidade em relação ao horário de produção do produto  $v$ , na fábrica  $f$ , na linha  $l$ , no período  $p$ .

Para o descumprimento de horários em relação às demandas, é atribuída penalidade, segundo a equação (7), para a demanda do produto  $v$  na fábrica  $f$ , no período  $p$ .

As quantidades produzidas em cada período devem ser o mais próximo possível da capacidade máxima de produção, a fim de minimizar custos de produção e transporte e evitar ociosidade, já que toda a produção de uma fábrica produtora de semi-elaborados deve ser enviada para uma outra unidade, como matéria-prima, por problemas de perecibilidade. Sendo assim, são atribuídas penalidades para o não cumprimento de produção máxima, segundo a equação (8), a qual estipula que a diferença entre a capacidade máxima de produção do produto  $v$ , na fábrica  $f$ , no período  $p$  e a efetiva, deve ser multiplicada por um fator pré-determinado (parâmetro do sistema), e equação (9), a qual estipula que a diferença entre a capacidade máxima de produção do produto  $v$ , na fábrica  $f$ , na linha  $l$ , no período  $p$  e a efetiva, deve ser multiplicada por um fator pré-determinado.

### **3.4.2 Restrições**

O modelo considera como restrições as limitações operacionais e os conceitos inerentes de um sistema logístico.

---

---

O conjunto de equações (10) determina que toda a produção de um produto  $v$  em uma fábrica  $f$  seja enviada para o conjunto de fábricas  $f'$ , em um período  $p$ . Do mesmo modo, o conjunto de equações (11) determina que toda a oferta de um produto  $v$  em uma fábrica  $f$  seja transferida para o conjunto de fábricas  $f'$ , em um período  $p$ .

O conjunto de equações (12) estabelece que a demanda total de uma fábrica  $f$ , de um determinado produto  $v$ , em um determinado período  $p$ , corresponde à soma das saídas e transferências deste produto, de todas as outras unidades, para a mesma, levando-se em conta o período de trânsito entre as unidades em questão.

O conjunto de equações (13) estabelece que a demanda diária (parâmetro do sistema) corresponde à soma de 24 períodos, cada um de 1 hora. Tal fato propicia atender a demanda diária uma unidade de acordo com horários ideais e inaceitáveis (alta penalidade) de recebimento, através da estipulação de penalidades. Do mesmo modo, o conjunto de equações (14) estabelece a oferta diária (parâmetro do sistema), agindo da mesma maneira quanto às penalidades.

Os conjuntos de equações (15), (16) e (17) representam restrições quanto às proporções de entrada de leite integral, pré-condensado integral e pré-condensado desnatado na fábrica de Ituiutaba ( $f = 1$ ) em um intervalo de 24 períodos (24 horas móveis), devido à capacidade de processamento. Tendo-se como referência a equação (17), pode-se verificar a impossibilidade de recebimento, por exemplo, de uma carga de pré-condensado desnatado quando em um período menor que 24 horas, a unidade já tiver recebido 5 cargas de pré-condensado integral e 1 carga de pré-condensado desnatado, já que, neste caso, ultrapassaria-se a proporção de 10 para 3, respectivamente.

O conjunto de equações (18) determina a demanda da fábrica de Ituiutaba ( $f = 1$ ), sendo que toda a produção e oferta de um produto  $v$  não enviado ou transferido para outra fábrica vira demanda para a unidade. Desta forma, esta unidade age como um pulmão, em caso de cancelamentos de cargas por qualquer motivo ou produções acima do previsto de semi-

---

---

elaborados (entrada extra de leite não programada). O conjunto de equações (19) estabelece um limite para esta demanda em um intervalo de 24 períodos (24 horas móveis).

O conjunto de equações (20) define a demanda de leite integral das fábricas produtoras de produtos derivados do leite (semi-elaborados). Esta demanda é limitada pela oferta de leite das outras unidades levando-se em consideração o tempo de trânsito entre as unidades em questão. O limite aqui estipulado refere-se somente à quantidade de matéria-prima disponível na cadeia no período em questão. Para o período zero é estipulado um estoque inicial, de acordo com o conjunto de equações (21).

O conjunto de restrições (22) representa a produção total de uma fábrica  $f$  em um período  $p$ , o que corresponde à entrada de leite integral (Região Leiteira, transferência – levando em conta o tempo de trânsito entre uma fábrica e outra - e estoque), menos quantidade de leite integral a permanecer em estoque, sendo este menor ou igual ao estoque máximo da fábrica em questão, conforme conjunto de equações (23).

O conjunto de equações (24) restringe a produção de um produto  $v$ , na fábrica  $f$ , no período  $p$ , à capacidade de produção deste produto, nesta fábrica, neste período. Enquanto que o conjunto de equações (25) calcula o fator que determinará uma penalidade para a não produção máxima (ociosidade) do período em questão, levando-se em consideração a capacidade da fábrica  $f$ .

O conjunto de equações (26) determina que a produção na fábrica  $f = 2$  (Goiânia), de um produto  $v$ , no período  $p$ , é a soma das produções de suas duas linhas do produto  $v$ , no período  $p$ .

O conjunto de equações (27) restringe a produção de um produto  $v$ , na fábrica de Goiânia, na linha  $l$ , no período  $p$ , à capacidade de produção deste produto, nesta fábrica, nesta linha, neste período. Enquanto que o conjunto de equações (28) calcula o fator que determinará

---

---

uma penalidade para a não produção máxima (ociosidade) do período em questão, levando-se em consideração a capacidade da linha  $l$ .

Os conjuntos de equações (29) e (30) restringem a produção das linhas um e dois, respectivamente, da fábrica de Goñnia, de acordo com suas capacidades máximas e duração dos ciclos de produção de cada produto  $v$ . Desta forma, para termos a produção de uma carga, por exemplo, no período  $p=20$ , na linha 1 - conjunto de equações (29), não poderíamos ter produzido nenhuma carga entre os períodos  $p=15$  e  $p=20$ , pois é justamente neste intervalo que, fisicamente, está ocorrendo o processamento do produto (ciclo de produção de 6 horas), da carga a ser enviada em  $p=20$ .

Da mesma forma, os conjuntos de equações (31) e (32) restringem a produção da fábrica de Rialma, enquanto que os conjuntos de equações (33) e (34) restringem as produções das fábricas de Jataí e Teófilo Otoni, respectivamente. Para estas equações, que tratam de volume de produção e horários, há a possibilidade, conforme conjuntos de equações de termos “períodos negativos”. Estes dados entrarão como parâmetros do sistema.

Vale ressaltar que para os conjuntos de equações (29), (30), (31), (32), (33) e (34), quando se tiver  $j < 0$ , os valores das produções nestes períodos entrarão como parâmetros do sistema. Tais valores serão obtidos do resultado apresentado pelo sistema em relação à semana anterior, já que o último domingo representado pelo sistema em uma determinada semana corresponderá ao primeiro domingo da semana subsequente.

Desta forma, além das produções relativas aos períodos em que se tiver  $j < 0$ , qualquer produção maior que zero, calculada pelo sistema no último domingo da semana, entrará como parâmetro de entrada no sistema na semana seguinte.

O conjunto de equações (35) determina o volume de creme produzido. Este volume está diretamente relacionado ao desnate do leite integral e, por isso, diretamente ligado à produção de pré-condensado desnatado (a produção de leite desnatado é desprezível para

---

---

este cálculo). O cálculo leva em conta a proporção de produção de pré-condensado desnatado, com a produção de creme (3,6% - taxa média de gordura presente no leite integral) e o fator de transformação de quantidade em leite para quantidade em creme (44% - taxa média de gordura presente no creme).

O conjunto de equações (36) determina que todo o excedente de creme, após atendimento de todas as demandas seja enviado à fábrica de Goiânia para a produção de *Butter Oil*, levando-se em consideração o tempo de trânsito entre as unidades em questão.

Por fim, os conjuntos de equações (37), (38), (39), (40) e (41) limitam os valores do estoque, dos fatores penalizadores de ociosidade e saídas e transferências, à positivos ou nulos.

---

---

## 4. ANÁLISE DO MODELO

Este capítulo tem por finalidade apresentar uma prévia análise do modelo, através do estudo de um exemplo. Para isso é criado um cenário, o qual representa, em menor escala, o modelo real.

### 4.1 Exemplo

A fim de podermos estudar o comportamento do modelo, pelo fato deste apresentar grande número de variáveis e restrições, foi desenvolvido e estudado um exemplo. Para isso, adotou-se o seguinte cenário (figura 4.1.1):

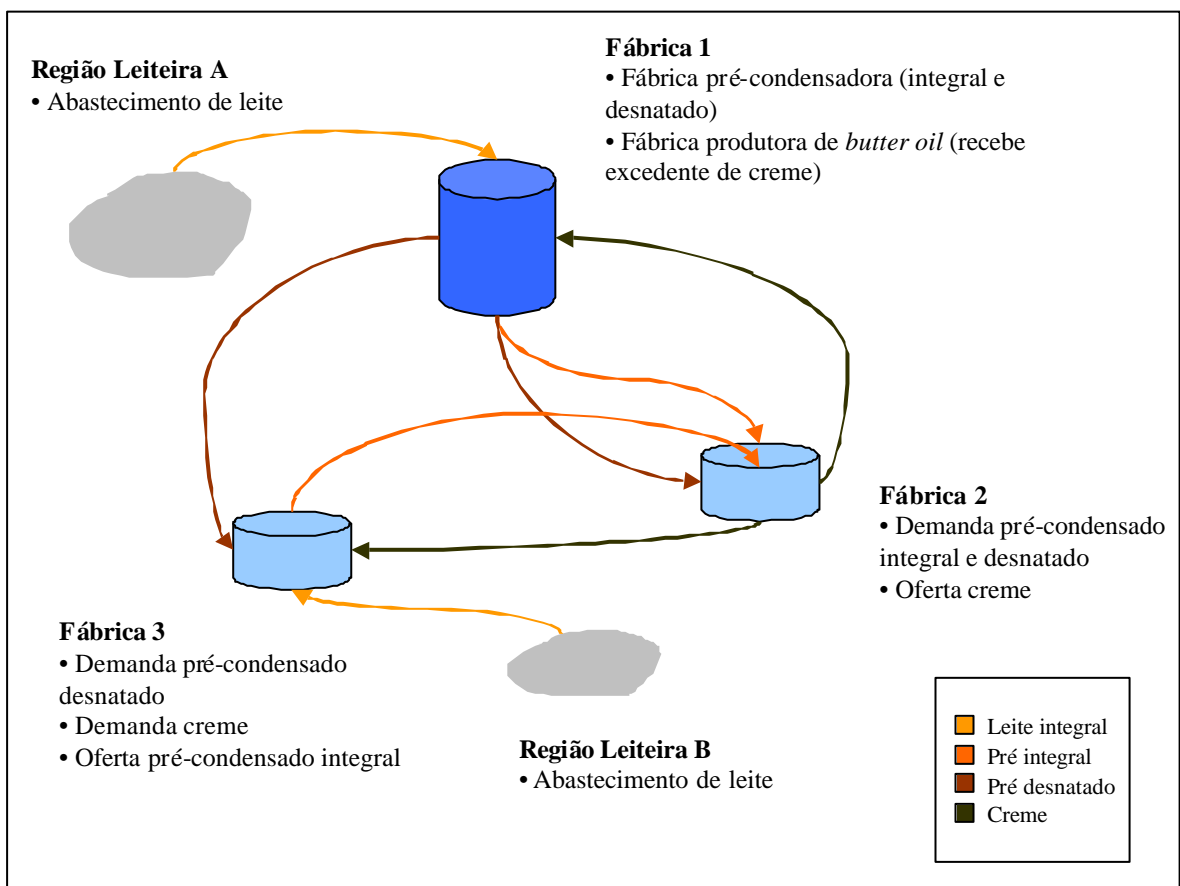


Figura 4.1.1: Cenário para o exemplo.

---

---

Os arcos da figura representam as possibilidades de envio de leite e semi-elaborados entre as fábricas em questão. Essas, além da região leiteira, compõem o cenário escolhido para construção do exemplo. A escolha se deu pelo fato de apresentarem características distintas uma da outra, podendo representar, em menor escala, o modelo real.

Seguem as descrições das fábricas:

### **Fábrica 1**

Fábrica pré-condensadora: fabrica leite pré-condensado integral e pré-condensado desnatado em linhas de produção distintas. É abastecida de leite integral pela Região Leiteira A.

A unidade possui linha para produção de *butter oil* e, desta forma, recebe excedente de creme de outras unidades (fábrica 2), além do creme próprio, gerado a partir da produção de pré-condensado desnatado. A produção deste semi-acabado depende da demanda de creme de outras unidades (fábrica 3), pois prioriza-se o atendimento da demanda deste último, em detrimento da produção do primeiro.

### **Fábrica 2**

Fábrica láctea: demanda leite pré-condensado integral e pré-condensado desnatado. A unidade, dependendo de seu *mix* de produção, apresenta um excedente de creme, o qual entra no sistema como oferta para as outras fábricas. Esta oferta é informada pela fábrica em questão, não sendo calculada pelo exemplo ou pelo próprio modelo real.

### **Fábrica 3**

Fábrica láctea: abastecida de leite integral pela Região Leiteira B. A unidade demanda leite integral, leite pré-condensado desnatado e creme.

---



---

Mesmo sendo abastecida com leite integral, a planta demanda pré-condensado desnatado, a fim de gerar maior rendimento em suas linhas. A unidade, como ocorre com a fábrica 2, dependendo de seu *mix* de produção, apresenta um excedente de leite fresco, no caso, de leite pré-condensado integral, o qual entra no sistema como oferta para as demais fábricas. Esta oferta também é informada pela fábrica em questão, não sendo calculada pelo exemplo.

### **Regiões Leiteiras A e B**

As Regiões Leiteiras A e B abastecem de leite integral as fábricas 1 e 3, respectivamente. Nota-se que a fábrica 2 não demanda leite integral para atender suas necessidades e desta forma, não conta com uma bacia leiteira para abastecê-la.

Para a construção do exemplo, algumas hipóteses foram adotadas:

- São considerados três períodos, os quais, por sua vez, representam 8 horas cada um, formando um dia;
- Não é considerado o tempo de trânsito entre as fábricas. A produção de um período, bem como a oferta, atendem às demandas do mesmo período em questão;
- O estoque da fábrica 1 regulará a diferença entre produção e oferta e demanda das fábricas;
- Todas os tipos de penalidade (horário de produção ideal, ociosidade, horário de demanda ideal, etc) estão considerados.
- Não foram considerados fluxos de leite integral entre unidades, já que, sem a representação dos postos de leite no sistema, tornam-se exceções e representam baixo volume e, portanto, baixo custo de frete, não impactando no resultado final.
- Os custos de frete são considerados iguais para diferentes produtos, levando em conta apenas a distância percorrida e volume da carga.

A tabela a seguir mostra os parâmetros de entrada utilizados para a criação do exemplo (Tabela 4.1.1):

---

Parâmetros		Fábrica 1			Fábrica 2			Fábrica 3		
		<i>p=1</i>	<i>p=2</i>	<i>p=3</i>	<i>p=1</i>	<i>p=2</i>	<i>p=3</i>	<i>p=1</i>	<i>p=2</i>	<i>p=3</i>
Entrada	Leite	400	200	200						
Estoque Inicial	Leite			100						
Estoque Máximo	Leite			1.000						
Demanda diária	PI						500			-
	PD						300			-
	CR						-			30
Penalidade por horário de demanda	PI				-	2	1	-	-	30
	PD				-	-	-	-	-	-
	CR							2	-	4
Oferta diária	PI									100
	CR						100			
Penalidade por horário de oferta	PI							2	3	1
	PD									
	CR				11	11	7			
Capacidade de Produção	PI	100	300	300						
	PD	200	200	200						
Penalidade por não produção	PI	1	3	1						
	PD	5	3	1						
Penalidade por horário de produção	PI	-	-	-						
	PD	-	-	-						
Custo de frete	Fábrica 1 para:			-			7			6
	Fábrica 2 para:			7						7
	Fábrica 3 para:			6			7			

**Legenda:**

Leite – leite integral *in natura* .  
 PI – leite pré-condensado integral.  
 PD – leite pré-condensado desnatado.  
 CR – creme.  
 “-” – zero.

*Tabela 4.1.1: Parâmetros de entrada do exemplo.*

Todos os valores, exceto o creme, são representados com valores equivalentes em leite. Esta mesma situação ocorre para o modelo real. O propósito da adoção deste critério se dá, conforme já comentado, pelo fato de não haver necessidade de conversões de unidades, diminuindo erros de aproximação, além do fato de todo o sistema da empresa – DPA *Manufacturing* - utilizar-se deste método.

Os valores do leite e dos produtos semi-elaborados estão representados em toneladas, enquanto que os valores de custo de frete em R\$/ton. As penalidades são adimensionais.

---

Na tabela, as células em cinza representam os campos em que não são possíveis os parâmetros de entrada. No caso da entrada de leite, estoque inicial e estoque máximo, somente a fábrica 1 é alimentada por estes dados, já que representa a única unidade pré-condensadora em questão.

Na fábrica 3, também receptora de leite integral, o campo entrada de leite é representado por células cinzas, mesmo esta unidade sendo abastecida pela Região Leiteira B. Tal situação se dá pelo fato de não ser uma fábrica pré-condensadora e, portanto, não ser necessário a definição de seu plano de produção pelo modelo. Sendo assim, os valores referentes ao leite integral, como parâmetros, serão representados pela demanda diária, oferta e as respectivas penalidades dos mesmos, comparada à entrada prevista de leite na unidade. Ou seja, caso o volume de entrada de leite previsto para um determinado dia seja  $V$  e a demanda  $D$ :

- Se  $V-D > 0$ , tem-se uma oferta de  $V-D$ ;
- Se  $V-D < 0$ , tem-se uma demanda de  $D-V$ ;
- Se  $V=D$ , tem-se oferta e demanda nulas;
- As penalidades dependerão das necessidades da fábrica.

No caso do exemplo, como não se tem fluxo de leite entre as unidades, a tabela não considera os campos em questão.

A mesma situação acontece com os demais parâmetros quando uma ou mais fábricas não possuem este dado de entrada. Vale ressaltar que a fábrica 1 não possui penalidades por horário de demanda, pois o único produto que pode receber, exceto o leite, se trata do creme. Entretanto, a demanda está diretamente relacionada com o excedente do produto e não a uma real demanda.

As penalidades no sistema representam os horários ideais de produção, oferta e recepção de produtos, de acordo com as necessidades de cada fábrica. A penalidade por não produção,

---

contudo, penaliza a ociosidade da fábrica 1 nos horários em questão. Este parâmetro visa à busca pela utilização de toda capacidade da fábrica em cada período.

## 4.2 Resultados e análise do exemplo

O modelo construído com os dados do exemplo utilizou programação linear e foi resolvido através do *software What's Best! 7.0 Versão Trial*, em um microprocessador AMD Athlon XP 1600, com 256 Mb de memória RAM. A solução ótima foi encontrada em 1 segundo, tendo como valor da função objetivo, R\$ 3.150,00. O resultado pode ser visto na tabela a seguir (Tabela 4.1.2):

Variáveis		Fábrica 1			Fábrica 2			Fábrica 3		
		<i>p=1</i>	<i>p=2</i>	<i>p=3</i>	<i>p=1</i>	<i>p=2</i>	<i>p=3</i>	<i>p=1</i>	<i>p=2</i>	<i>p=3</i>
Estoque	Leite	200	100	200						
Demanda	PI				100	200	200	-	-	-
	PD				200	100	-	-	-	-
	CR			70				-	-	30
Oferta	PI							-	-	100
	CR				-	-	100			
Transferência - PI	Fábrica 3 para:				-	-	100			
Transferência - CR	Fábrica 2 para:	-	-	70				-	-	30
Produção	PI	100	200	100						
	PD	200	100	-						
	CR	3	2	-						
Não produção	PI	-	100	200						
	PD	-	100	200						
Saída - PI	Fábrica 1 para:				100	200	100	-	-	-
Saída - PD	Fábrica 1 para:				200	100	-	-	-	-

**Legenda:**

Leite – leite integral *in natura* .  
 PI – leite pré-condensado integral.  
 PD – leite pré-condensado desnatado.  
 CR – creme.  
 “-” – zero.

Tabela 4.1.2: Resultados do exemplo.

Após análise dos resultados obtidos, conclui-se que os valores apresentados estão coerentes com as restrições do sistema e otimização do custo:

---

A demanda de pré-desnatado da fábrica 2 foi atendida em sua totalidade pela fábrica 1. Não havia penalidade para horário de demanda do produto, entretanto havia penalidade por ociosidade da fábrica (penalidade por não produção), sendo esta mais severa para  $p=1$ , seguida por  $p=2$  (5 e 3 respectivamente). Desta forma, deveria priorizar-se a produção no primeiro período. A demanda de 300 toneladas foi atendida em  $p=1$ , 200 toneladas e  $p=2$ , 100 toneladas. O fator limitante para o não completo atendimento em  $p=1$  foi a capacidade de produção no período, de 200 toneladas.

A demanda de pré-condensado integral da fábrica 2 é completamente atendida pelas fábricas 1 e 3. A fábrica 3 oferta 100 toneladas de pré-condensado integral e, por definição, deve transferir esta oferta durante o dia em questão, pois em se tratando de produto perecível, não pode permanecer em estoque. A determinação do horário desta transferência leva em conta: penalidades por horário de oferta (horário ideal para a fábrica 3 transferir o produto) e penalidades por horário de demanda (horário ideal para a fábrica 2 recepcionar o produto). A transferência ocorre em  $p=3$ , pois o sistema escolhe aleatoriamente entre este período e  $p=1$ , já que possuem mesmo valor de penalidade, conforme mostrado na tabela a seguir:

	$p=1$	$p=2$	$p=3$
Penalidade por horário de demanda	-	2	1
Penalidade por horário de oferta	2	3	1
Soma	2	5	2
<b>Valor a ser contabilizado na função objetivo</b>	200	500	200

*Tabela 4.1.3: Penalidade por horário de transferência.*

O valor a ser contabilizado na função objetivo a ser minimizada corresponde ao valor total da penalidade, multiplicado pela quantidade transferida, no caso do exemplo, R\$ 200,00.

A produção de pré-condensado integral na fábrica 1 e seu respectivo envio, deveria concentrar-se no segundo período, já que não se tem penalidades por horário ideal de produção e a penalidade por não produção em  $p=2$  é mais severa. As penalidades para  $p=1$  e  $p=3$  são iguais e de valor unitário.

---

---

Tem-se uma produção e envio de 100 toneladas de pré-condensado integral da fábrica 1 para a fábrica 2 em  $p=1$  e  $p=3$ . As produções estão de acordo com a capacidade de produção nos períodos em questão. Para o período  $p=2$ , entretanto, tem-se uma produção de 200 toneladas, quando a capacidade, em princípio, seria de 300 toneladas. O motivo desta diferença está relacionado ao tempo de produção de uma carga, no caso, de 100 toneladas. No exemplo, a fabricação de uma carga dura 2 períodos, ou seja, as cargas do período  $p=2$ , começaram a serem produzidas em  $p=1$ . Contudo, neste período, já se tinha programada a primeira carga, tirando assim, capacidade de produção do período  $p=2$  (redução equivalente à quantidade produzida no período anterior. Em  $p=0$ , considerou-se produção nula.

Finalmente, o creme demandado pela fábrica 3, 30 toneladas, foi exclusivamente atendido pela fábrica 2, já que não tem custo de frete quando a produção da fábrica 1 permanece na própria unidade. Sendo assim, a transferência é feita no período  $p=2$ , pois desta maneira a combinação de penalidades entre horário ideal de demanda e horário ideal de oferta é atendida da melhor forma.

O restante do creme ofertado, 70 toneladas, é enviado para fábrica 1, mesmo não havendo uma demanda formal, já que a unidade é encarregada de absorver o creme excedente, destinado à produção de *butter oil*.

O exemplo foi testado com diferentes parâmetros de entrada. Os resultados foram analisados e estavam coerentes com o esperado.

---

---

## 5. LEVANTAMENTO DE DADOS

A coleta de dados considerou todos os parâmetros de entrada do sistema. Os dados consideraram dados oficiais da empresa, procurando-se calcular os custos totais obtidos pelo sistema, a fim de compará-los com o método utilizado atualmente e estudar a viabilidade do sistema.

### 5.1 Dados do sistema

Conforme descrito anteriormente, as fábricas enviam sua programação mensal, a ser avaliada, a fim de que sejam confirmadas as demandas das fábricas por leite fresco. Estas demandas são geradas a fim de atender à produção programada diariamente, visando obter o máximo de eficiência e qualidade nas linhas de produção. A partir do reconhecimento destas necessidades e do sequenciamento da produção em cada unidade, são definidas as ofertas de cada produto, em cada unidade.

O volume de entrada de leite, provido pelas regiões leiteiras, é informado pela área de *Milk Sourcing*, semanalmente, levando-se em conta a demanda de leite fresco por cada planta. Sendo assim, os parâmetros que se referem às ofertas, demandas e volume de entrada de leite são dinâmicos e fornecidos a cada semana, por cada fábrica e pelas regiões leiteiras, para abastecer o sistema.

Da mesma forma, os horários ideais correspondentes às demandas, ofertas e produções também serão definidos pelas fábricas, o que está diretamente ligado às penalidades referentes a estes valores.

O levantamento de dados, portanto, concentra-se nos valores das capacidades das fábricas, estoques, tempo entre as unidades, custo de frete e fatores de conversão.

---

---

## Capacidades das fábricas

As capacidades das fábricas em questão já foram levadas em consideração para a construção das restrições do modelo. Para isso, as equações 29 à 34 (item 3.4 Modelo; Capítulo 3) consideram as produções de acordo com o tempo de produção de uma carga fechada, equivalente à 100 toneladas de leite integral para o pré-condensado integral e à 110 toneladas pra o pré-condensado desnatado. Esta carga fechada refere-se às carretas utilizadas atualmente pela empresa.

As informações tiveram como base o CST – *Capacity Sumary Tool*, ferramenta oficial da empresa, contendo todos os dados, nominais e efetivos, de cada equipamento e linha, de cada unidade. Para cada planta tem-se capacidades diferentes, demandando diferentes períodos para produção de uma carga fechada, de cada produto, conforme mostrado na tabela a seguir (Tabela 5.1.1):

Unidades	Tempo médio para produção de uma carga fechada (horas)	
	<i>Pré-condensado integral</i>	<i>Pré-condensado desnatado</i>
Goiânia – Linha 1	6	-
Goiânia – Linha 2	6	6
Rialma	8	10
Jataí	5	-
Teófilo Otoni	4	-

*Tabela 5.1.1: Tempo de produção de cargas fechadas.*

Para entrada no sistema, portanto, a capacidade de cada fábrica, por período, será equivalente a uma carga fechada, já que as restrições do modelo consideram o tempo de produção de cada carga ou nula (produção de semi-acabados). Portanto, na hipótese de

---



---

produção de uma carga em um período  $p$ , as produções entre  $p$  menos o tempo médio para produção de uma carga deve ser nulo. Por exemplo, no caso de Rialma produzir uma carga de pré-condensado integral em  $p=20$ , os volumes produzidos entre  $p=13$  e  $p=20$ , devem ser nulos, caso contrário, esta produção fica inviável, por falta de capacidade necessária.

## Estoques

O estoque inicial a ser informado ao sistema trata-se apenas de uma previsão, já que refere-se ao estoque de domingo às 0 horas. Este estoque poderá ser levantado através da distribuição, alocação e transferências de leite fresco da semana anterior, de acordo com as transferências, saídas e produções e a entrada de leite em cada unidade.

Para os estoques máximos, considerados apenas para as fábricas pré-condensadoras, foram encontrados os seguintes valores (Tabela 5.1.2):

Unidade	Estoque máximo (ton)
Goiânia	400
Rialma	200
Jataí	300
Teófilo Otoni	450

*Tabela 5.1.2: Estoques máximos de leite integral, por unidade.*

Os estoques mostrados na tabela acima consideram as capacidades máximas dos silos de estocagem de cada fábrica pré-condensadora. Para as outras unidades, as necessidades de cada planta e os horários ideais de recebimento já consideram os estoques de cada uma.

Para a unidade de Ituiutaba, a capacidade de estoque já é considerada pelo modelo, através do limite máximo de recebimento de leite fresco em um prazo de 24 horas e as proporções de recebimento entre os diferentes produtos.

---

## Tempo entre unidades

O tempo entre as unidades levou em consideração a distância entre as mesmas (Tabela 5.1.3) e a velocidade média das carretas. Neste caso, considerou-se uma velocidade de 40 Km/h. Esta aproximação não gerou perda de validade do sistema, já que os horários ideais de recebimento não são rígidos e diferenças entre previsão de chegada e chegada efetiva são normais, já que as distâncias entre as fábricas são grandes e vários fatores interferem no tempo de percurso, haja vista as variações de clima, horário de trânsito, equipamento, etc.

[illegible]

*Tabela 5.1.3: Distância entre unidades.*

As células em cinza, mostradas na tabela acima, representam percursos que não são realizados, ou seja, não há transporte de produtos entre estas unidades. O sistema considerará a impossibilidade de transporte entre estes percursos através do custo de frete, alocando para esses trechos um custo abusivo, fora do padrão.



AR	0,05321	IT	0,05571	RA	0,05571
AT	0,05321	AB	0,05714	JT	0,05571
AQ	0,05321	TO	0,05768	PM	0,05571
MC	0,05768	BM	0,05668	TF	0,05714
IB	0,05571	GO	0,05571	CO	0,05464

*Tabela 5.1.4: Custo de frete – R\$/ton/Km – por unidade de origem.*

Os custos finais estão diretamente ligados à distância percorrida. Como o modelo trabalha com valores equivalentes em leite e as cargas fechadas dos diferentes tipos de produtos apresentam valores diferentes, tem-se custos distintos de frete, em relação ao modelo.

As tabelas a seguir mostram os custos de frete, levando-se em conta custo por tonelada, distância, unidade de origem e tipo de produto.

#### Leite integral, leite desnatado e creme

		Destino														
		AR	AT	AQ	MC	IB	IT	AB	TO	BM	GO	RA	JT	PM	TF	CO
Origem	AR		21,711	7,237		24,691	28,842			24,372	41,454	49,596	45,977	31,716		13,516
	AT	21,711		15,911	57,259	30,545	23,946	92,753		44,221	37,410	45,551	27,512	35,388		16,230
	AQ	7,237	15,911		50,500	24,053	22,669		58,376	29,215	35,388	43,529	38,846	28,416		23,734
	MC		62,062	54,737		32,069	45,854	41,413	34,203	45,912	49,200	54,506	62,235	23,821	46,431	
	IB	25,851	31,980	25,183	30,977		21,784	69,866	44,516	32,816	31,590	40,059	37,997	8,301		41,619
	IT	30,197	25,071	23,734	44,293	21,784		82,011	64,963	49,976	18,497	27,021	17,773	19,946	75,660	37,719
	AB		99,600		41,029	71,657	84,114		34,743	76,229	89,086	88,857		64,229	22,171	
	TO			63,273	34,203	46,085	67,253	35,069		43,490	67,888			49,719	14,247	
	BM	25,959	47,100	31,117	45,116	33,384	50,841	75,609	42,736					35,594		45,910
	GO	43,401	39,167	37,050	47,524	31,590	18,497	86,859	65,576			9,806	17,160	30,699		
	RA	51,926	47,691	45,574	52,650	40,059	27,021	86,636			9,806		27,133			
	JT	48,137	28,804	40,671	60,116	37,997	17,773				17,160	27,133		27,634		
	PM	33,206	37,050	29,751	23,010	8,301	19,946	62,623	48,026	34,989	30,699		27,634			
	TF				46,000		77,600	22,171	14,114							
	CO	13,879	16,666	24,371		40,818	36,993			44,261						

AR	Araras	IT	Ituiutaba	RA	Rialma
AT	Araçatuba	AB	Itabuna	JT	Jataí
AQ	Araraquara	TO	Teófilo Otoni	PM	Patos de Minas
MC	Montes Claros	BM	Barra Mansa	TF	Teixeira de Freitas
IB	Ibiá	GO	Goiânia	CO	Confear

*Tabela 5.1.5: Custo de frete (leite integral, leite desnatado e creme) – R\$/ton.*

Os valores de transporte do leite desnatado e do creme são equivalentes aos valores de transporte do leite integral, já que, para o primeiro, mesmo o volume sendo equivalente em leite integral, a diferença não é relevante. Para o creme, não é utilizado valor equivalente em leite integral e, portanto, utiliza-se o mesmo valor em R\$/tonelada.

### Pré-condensado integral

		Destino														
		AR	AT	AQ	MC	IB	IT	AB	TO	BM	GO	RA	JT	PM	TF	CO
Origem	AR		6,079	2,026		6,914	8,076			6,824	11,607	13,887	12,874	8,880		3,785
	AT	6,079		4,455	16,032	8,553	6,705	25,971		12,382	10,475	12,754	7,703	9,909		4,545
	AQ	2,026	4,455		14,140	6,735	6,347		16,345	8,180	9,909	12,188	10,877	7,957		6,645
	MC		17,377	15,326		8,979	12,839	11,596	9,577	12,855	13,776	15,262	17,426	6,670	13,001	
	IB	7,238	8,954	7,051	8,674		6,100	19,562	12,464	9,188	8,845	11,216	10,639	2,324		11,653
	IT	8,455	7,020	6,646	12,402	6,100		22,963	18,190	13,993	5,179	7,566	4,976	5,585	21,185	10,561
	AB		27,888		11,488	20,064	23,552		9,728	21,344	24,944	24,880		17,984	6,208	
	TO			17,717	9,577	12,904	18,831	9,819		12,177	19,009			13,921	3,989	
	BM	7,268	13,188	8,713	12,633	9,347	14,235	21,171	11,966					9,966		12,855
	GO	12,152	10,967	10,374	13,307	8,845	5,179	24,320	18,361			2,746	4,805	8,596		
	RA	14,539	13,354	12,761	14,742	11,216	7,566	24,258			2,746		7,597			
	JT	13,478	8,065	11,388	16,832	10,639	4,976				4,805	7,597		7,738		
	PM	9,298	10,374	8,330	6,443	2,324	5,585	17,534	13,447	9,797	8,596			7,738		
	TF				12,880		21,728	6,208	3,952							
	CO	3,886	4,667	6,824		11,429	10,358			12,393						

AR	Araras	IT	Ituiutaba	RA	Rialma
AT	Araçatuba	AB	Itabuna	JT	Jataí
AQ	Araraquara	TO	Teófilo Otoni	PM	Patos de Minas
MC	Montres Claros	BM	Barra Mansa	TF	Teixeira de Freitas
IB	Ibiá	GO	Goiânia	CO	Confear

Tabela 5.1.6: Custo de frete (pré-condensado integral) – R\$/toneladas.

Os valores exibidos na tabela acima representam o custo de frete para transporte de carga fechada de leite pré-condensado integral, correspondente à 28 toneladas do produto e equivalente à 100 toneladas de leite integral, em R\$/toneladas.

## Pré-condensado desnatado

		Destino														
		AR	AT	AQ	MC	IB	IT	AB	TO	BM	GO	RA	JT	PM	TF	CO
Origem	AR		5,527	1,842		6,285	7,342			6,204	10,552	12,624	11,703	8,073		3,441
	AT	5,527		4,050	14,575	7,775	6,095	23,610		11,256	9,522	11,595	7,003	9,008		4,131
	AQ	1,842	4,050		12,855	6,123	5,770		14,859	7,436	9,008	11,080	9,888	7,233		6,041
	MC		15,798	13,933		8,163	11,672	10,542	8,706	11,687	12,524	13,874	15,842	6,064	11,819	
	IB	6,580	8,140	6,410	7,885		5,545	17,784	11,331	8,353	8,041	10,197	9,672	2,113		10,594
	IT	7,687	6,382	6,041	11,275	5,545		20,876	16,536	12,721	4,708	6,878	4,524	5,077	19,259	9,601
	AB		25,353		10,444	18,240	21,411		8,844	19,404	22,676	22,618		16,349	5,644	
	TO			16,106	8,706	11,731	17,119	8,927		11,070	17,281			12,656	3,626	
	BM	6,608	11,989	7,921	11,484	8,498	12,941	19,246	10,878					9,060		11,686
	GO	11,048	9,970	9,431	12,097	8,041	4,708	22,109	16,692			2,496	4,368	7,814		
	RA	13,217	12,140	11,601	13,402	10,197	6,878	22,053			2,496		6,907			
	JT	12,253	7,332	10,353	15,302	9,672	4,524				4,368	6,907		7,034		
	PM	8,452	9,431	7,573	5,857	2,113	5,077	15,940	12,225	8,906	7,814		7,034			
	TF				11,709		19,753	5,644	3,593							
	CO	3,533	4,242	6,203		10,390	9,416			11,266						

AR	Araras	IT	Ituiutaba	RA	Rialma
AT	Araçatuba	AB	Itabuna	JT	Jataí
AQ	Araraquara	TO	Teófilo Otoni	PM	Patos de Minas
MC	Montes Claros	BM	Barra Mansa	TF	Teixeira de Freitas
IB	Ibiá	GO	Goiânia	CO	Confear

Tabela 5.1.7: Custo de frete (pré-condensado desnatado) – R\$/toneladas.

Os valores exibidos na tabela acima representam o custo de frete para transporte de carga fechada de leite pré-condensado desnatado, correspondente à 28 toneladas do produto e equivalente à 110 toneladas de leite integral, em R\$/toneladas.

---

## 6. SOLUÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente capítulo visa mostrar a solução encontrada pelo sistema para um cenário real e compará-lo à solução real utilizada na distribuição de leite integral e semi-elaborados entre as unidades. Além disso, tem a finalidade de analisar os resultados encontrados e melhorias para a rede de distribuição.

### 6.1 Solução do problema

O modelo foi processado pelo *software What's Best! 5.0* Versão Industrial, em um microprocessador Pentium IV 1,2 GHz, com 256 Mb de memória RAM. O modelo real composto por 303.000 variáveis e 20.490 restrições ultrapassou a capacidade de processamento do software, de 32.000 variáveis e 16.000 restrições.

As transferências e saídas do sistema estavam considerando todas as possibilidades de envios entre as unidades, ou seja, uma matriz considerando todas as unidades enviando para todas as unidades e recebendo de todas as unidades. Para diminuir o número de restrições, as saídas e transferências, os percursos não realizados foram cancelados. Estas medidas não comprometeram a validade dos resultados, já que apenas as saídas e transferências realmente inviáveis foram descartadas.

Além disso, o sistema teve de considerar um horizonte de 96 períodos, ao invés dos 192 períodos inicialmente considerados, o que resultou em uma necessidade extra de processar o problema duas vezes para uma mesma semana.

Após os ajustes necessários, o modelo, composto de 30.136 variáveis e 15.812 restrições foi processado dentro da capacidade do *software*. A solução final foi obtida após um tempo de processamento de 11 minutos e 46 segundos e o relatório de confirmação da solução

---

---

encontra-se ilustrado no Anexo I. A entrada dos parâmetros no *software*, assim como a saída dos resultados, é feita através de planilhas eletrônicas, no caso, o *Microsoft Excel XP*.

Os parâmetros de entrada considerados, necessidades e entrada de leite em cada fábrica e posto de leite, além das ofertas de cada unidade, referem-se à semana de 26 de setembro a 02 de outubro de 2005, a qual apresentava uma entrada média diária na cadeia de fábricas de 4.765,87 toneladas de leite integral.

## 6.2 Análise da solução obtida

A fim de comparar os resultados obtidos pelo sistema e o utilizado pela empresa, considerou-se apenas a soma dos valores de *CF1* e *CF2*, relacionados aos custos de frete. A solução obtida apresenta uma sensível redução de custos em relação ao método utilizado atualmente. O quadro abaixo (Tabela 6.2.1) ilustra na comparação em relação ao resultado final obtido pelo sistema e o resultado efetivo:

Produto	Atual	Proposto	Diferença	Diferença %
Leite integral	92.269,15	88.155,49	(4.113,66)	-4,5%
Leite desnatado	1.219,90	1.219,90	-	0,0%
Pré-condensado integral	62.374,28	58.789,21	(3.585,07)	-5,7%
Pré-condensado desnatado	39.670,22	38.779,33	(890,89)	-2,2%
Creme	5.630,70	5.630,70	-	0,0%
<b>Total</b>	201.164,25	192.574,63	(8.589,62)	-4,3%

*Tabela 6.2.1: Resumo do resultado final (R\$).*

Analisando a tabela acima, pode-se inferir:

- Há diferença significativa entre o sistema atual e o proposto, considerando um horizonte de uma semana.



- 
- Não há redução de custos em relação ao leite desnatado e ao creme. Tal fato se dá pelo baixo volume transportado e pelo baixo número de variações possíveis de unidades abastecedoras e receptoras de tais produtos.
  - A redução absoluta maior acontece no transporte de leite integral, já que representa a maior parte dos custos totais.

Os parâmetros iniciais e o resumo das transferências e saídas entre as fábricas são apresentados no Anexo II (o modelo completo é composto por 35 planilhas).

### **6.3 Resultados adicionais**

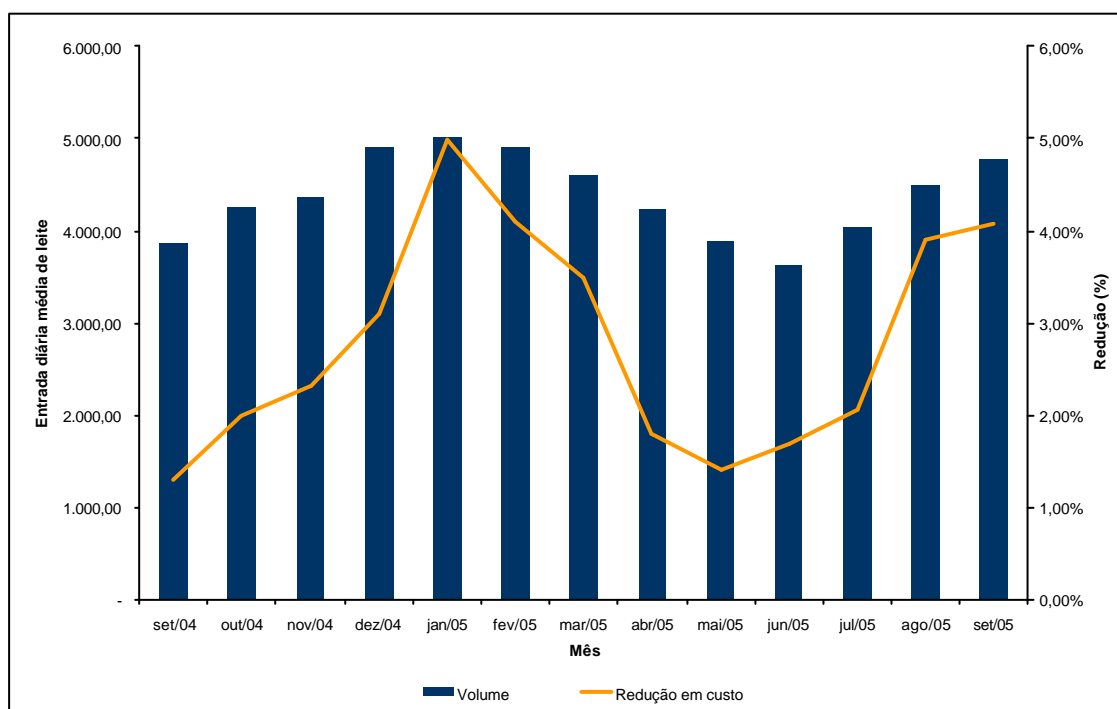
A solução obtida e descrita no item anterior representa uma semana da cadeia de suprimentos de leite e derivados. Entretanto, ao longo do ano há variações em relação as necessidades das fábricas e aos volumes de entrada de leite integral (safra e entressafra). Desta forma, para verificar a consistência dos resultados propostos pelo sistema e compará-los aos resultados obtidos com o método atual, foram considerados diversos parâmetros de entrada, referentes a diferentes semanas do ano para análise da solução.

Considerou-se os dados de 14 dias de cada mês, desde setembro do ano anterior, 2004 e extrapolou-os para o mês em questão, até setembro de 2005. Desta forma, pode-se analisar resultados com parâmetros de entrada característicos de cada período do ano e suas peculiaridades. A fim de comparar os resultados obtidos pelo sistema e o utilizado pela empresa, conforme solução anterior, considerou-se apenas a soma dos valores de *CF1* e *CF2*, relacionados aos custos de frete. As soluções obtidas estão ilustradas no quadro a seguir (Tabela 6.3.1):

Período	Entrada diária de leite (média)	Atual	Proposto	Diferença	Diferença %
set/04	3.858,96	339.276,13	334.865,54	(4.410,59)	-1,3%
out/04	4.244,21	353.886,01	346.843,68	(7.042,33)	-2,0%
nov/04	4.358,98	390.310,12	381.231,51	(9.078,61)	-2,3%
dez/04	4.911,22	391.951,12	379.800,64	(12.150,48)	-3,1%
jan/05	5.011,22	432.289,22	410.717,98	(21.571,23)	-5,0%
fev/05	4.897,52	400.950,69	384.511,71	(16.438,98)	-4,1%
mar/05	4.588,61	361.578,29	348.923,05	(12.655,24)	-3,5%
abr/05	4.222,58	339.740,42	333.625,09	(6.115,33)	-1,8%
mai/05	3.879,62	315.364,54	310.949,44	(4.415,10)	-1,4%
jun/05	3.629,87	298.025,36	292.958,93	(5.066,43)	-1,7%
jul/05	4.025,68	387.503,60	379.564,60	(7.939,00)	-2,0%
ago/05	4.483,23	384.572,54	369.574,21	(14.998,33)	-3,9%
set/05	4.765,58	395.287,75	379.179,45	(16.108,30)	-4,1%

*Tabela 6.3.1: Resumo dos resultados médios mensais (R\$) – 14 dias.*

Analisando a tabela acima, pode-se verificar uma redução de custos significativa e uma relação direta com o volume de leite, conforme ilustrado no gráfico abaixo (Gráfico 6.3.1):



*Gráfico 6.3.1: Relação entre volume de leite e redução em custo.*

---

O gráfico anterior (Gráfico 6.3.1) ilustra a relação direta entre o volume de leite e a redução no custo de frete obtida pela solução proposta. Tal fato está relacionado ao aumento gradativo de opções a serem analisadas e, assim, ao número de oportunidades de redução de custos, com o aumento do volume de leite na cadeia de suprimentos, já que representa um volume maior de fluxo de produtos entre fábricas.

#### **6.4 Análise de sensibilidade**

Verificando-se o relatório gerado pelo sistema, é possível efetuar uma análise, a fim de determinar a sensibilidade das soluções com alterações em parâmetros do sistema.

Em relação às restrições, o relatório fornece informações do *shadow price* (preços marginais), o qual representa o aumento da margem de contribuição global quando há um relaxamento de uma restrição imposta. Está relacionado ao preço que o modelo estaria disposto a pagar por um determinado item adicional. Para isso, pressupõe-se que nenhum outro dado do sistema sofra alguma alteração.

Analisando detalhadamente os relatórios gerados é possível tecer as considerações a seguir. Vale ressaltar que por terem sido geradas diversas soluções, referentes a diferentes períodos do ano e utilizando parâmetros distintos, as mesmas podem ser de grande valia para analisar a sensibilidade dos parâmetros:

- I. Os períodos de safra do leite, em consequência do alto volume trabalhado, correspondem aos mais críticos em relação aos volumes de produção de semi-elaborados nas fábricas pré-condensadoras, bem como em relação às suas capacidades de estocagem. Fatos estes verificados pelos valores significativos do *shadow price* de capacidade de produção e estocagem das unidades.
  - II. Em razão também da existência de períodos de safra e entressafra, têm-se períodos críticos em relação à capacidade de recebimento de leite e semi-elaborados, bem como
-

---

em relação às suas proporções, na unidade de Ituiutaba, a qual funciona como um pulmão da cadeia. Tal fato pode ser verificado junto aos valores de *shadow price* das restrições de volume máximo de entrada de leite e semi-elaborados na unidade (período móvel de 24 horas). Há grande diferença em relação a estes valores entre período distintos do ano.

- III. Pela maior proximidade de Goiânia e Jataí, em relação às fábricas lácteas, tem-se um ganho em reais com o acréscimo em suas capacidades de produção, já que não são capazes de atenderem a demanda total das últimas. Vale ressaltar que não são considerados custos fixos das unidades, os quais são levados em consideração nos módulos tático e estratégico da empresa, e, desta forma, quando não são inclusas penalidades de outras naturezas, o custo de frete é determinante para a preferência de produção em uma dada unidade.
- IV. Por outro lado, tem-se a fábrica de Teófilo Otoni abastecendo quase que exclusivamente as unidades de Montes Claros e Itabuna, durante todo o ano. Quando há uma redução na entrada de leite da unidade e na demanda das demais unidades, têm-se valores nulos de *shadow price* de capacidade de produção da unidade. Em contrapartida, em período de safra, os valores do *shadow price* passam a ser significativos, haja vista o alto custo de frete para atendimento da demanda das unidades de Montes Claros e Itabuna, por outras fábricas lácteas.

Com a utilização de penalidades relacionadas a horários ideais de recebimento e produção, as quais não foram utilizadas para comparação das propostas do sistema com as soluções processadas pelo sistema atual, ter-se-iam novos parâmetros de análise, conforme ilustrado na seção subsequente.

---

---

## 6.5 Inclusão de penalidades

Nos itens anteriores comparou-se o modelo proposto com o método atual utilizado pela empresa. Para isso, os critérios adotados, em relação aos custos envolvidos e capacidade de produção, foram os mesmos. Entretanto, um fator relevante na diferenciação entre o método atual e o modelo se trata da possibilidade de contemplar, neste último, horários ideais de recebimento, produção e expedição de carregamentos pelas fábricas. Para isso, utilizam-se penalidades proporcionais à relevância das variações de horário. Desta forma, as unidades informam os horários ideais e o impacto de não cumprimento dos mesmos e, em posse destas informações, são definidos os pesos de cada penalidade.

Atualmente, têm-se sérios problemas em relação aos elevados tempos de espera para descarregamento de leite fresco nas unidades:

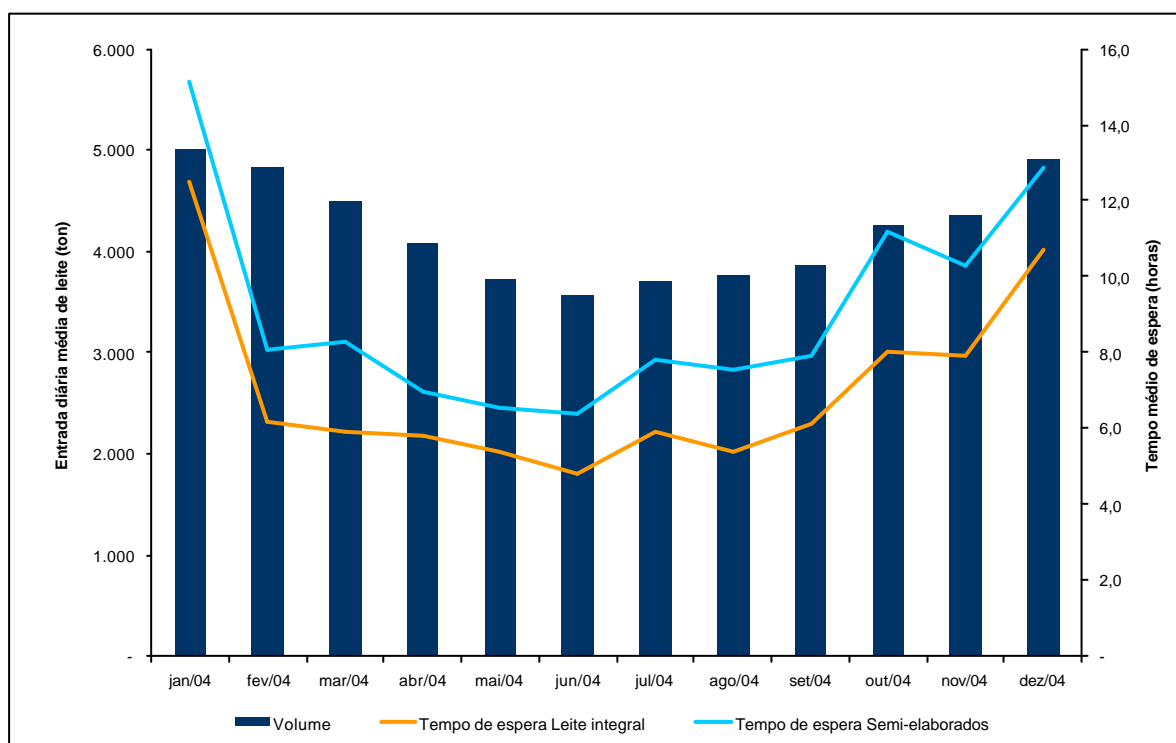
- Considerando as operações de recepção, análises, descarga, limpeza e liberação dos equipamentos para o transporte de leite, o tempo médio de espera tolerado deveria ser de no máximo 6 horas. Os resultados apresentados estão 23% acima (dados de 2004);
  - Considerando as operações de recepção, análises, descarga, limpeza e liberação dos equipamentos para o transporte de semi-elaborados, o tempo médio de espera tolerado deveria ser de no máximo 7 horas. Os resultados apresentados estão 50% acima (dados de 2004);
  - Os tempos de espera na descarga acima do tolerável causam impacto direto nos custos de operação das transportadoras de leite, as quais tendem a repassar esses custos para a tarifa de transporte, impactando diretamente nos custos de captação de leite e matéria-prima.
  - A matéria-prima estocada nos tanques (transporte) desde a carga na origem, levando-se em conta o tempo de percurso e o tempo de espera para a descarga (considerar o fato do aumento da temperatura em até 2°C a cada 10 horas) sofre perdas na qualidade.
-

---

Há de se levar em consideração, também, conforme já mencionado, o fato de se ocorrer uma deterioração na relação entre a empresa e as transportadoras, fazendo que as exigências de serviços mais adequados, como tipo e tamanho de veículos, bem como horários a cumprir, acabem sendo deixadas em segundo plano.

Em um plano de ação para corrigir tal problema, o qual foi posto em prática recentemente, em setembro de 2005, adotou-se a estipulação de multas, previstas em novos contratos assinados entre a empresa e as transportadoras, os quais estabelecem uma penalidade de R\$ 15,62 para cada hora que cada carreta permaneça em tempo de espera superior a 10 horas em cada fábrica.

O gráfico a seguir (Gráfico 6.5.1), ilustra o tempo de espera médio por carreta, em relação ao volume de entrada de leite por mês (2004):



*Gráfico 6.5.1: Relação entre volume de leite e tempo de espera.*

---

---

Pode-se verificar uma correlação entre o volume de entrada de leite fresco e o tempo de espera de carretas nas fábricas, sejam estas carregadas de semi-elaborado ou leite integral. Além disso, nota-se que na maioria dos meses extrapola-se o limite máximo de espera de carretas nas unidades.

Com a adoção, pelo modelo proposto, de horários ideais de produção e recebimento de matéria-prima pelas unidades, buscou-se a eliminação ou redução desses problemas enfrentados atualmente.

Para fins comparativos, considerou-se os parâmetros de entrada referentes à semana de 26 de setembro a 02 de outubro de 2005, a qual apresentava uma entrada média diária na cadeia de fábricas de 4.765,87 toneladas de leite integral. A fim de comparar os resultados obtidos pelo sistema e o utilizado pela empresa, considerou-se apenas a soma dos valores de *CF1* e *CF2*, relacionados aos custos de frete, não levando em consideração, para fins de comparação, o valor final da função objetivo, no qual estão computados os custos referentes às penalidades.

A tabela a seguir (Tabela 6.5.1) ilustra os resultados do método atual comparados com os resultados obtidos pelo modelo:

<b>Produto</b>	<b>Atual</b>	<b>Proposto</b>	<b>Diferença</b>	<b>Diferença %</b>
Leite integral	92.269,15	91.003,12	(1.266,03)	-1,4%
Leite desnatado	1.219,90	1.219,90	-	0,0%
Pré-condensado integral	62.374,28	59.344,25	(3.030,03)	-4,9%
Pré-condensado desnatado	39.670,22	39.455,88	(214,34)	-0,5%
Creme	5.630,70	5.630,70	-	0,0%
<b>Total</b>	<b>201.164,25</b>	<b>196.653,85</b>	<b>(4.510,40)</b>	<b>-2,2%</b>

*Tabela 6.5.1: Resumo do resultado final acrescido de penalidades (R\$).*

---

---

Verifica-se uma perda em relação à redução de custos comparando-se os atuais 2,2% à solução obtida, anteriormente, sem a adição de penalidades, de 4,3% (Tabela 6.2.1). Tal fato está diretamente relacionado à redução de possibilidades imposta ao sistema.

Apesar desta perda aparente quanto à redução de custo com a adição de restrições de horários, há de se considerar que na semana em questão, utilizando-se modelo atual, teve-se um período de espera absoluto de 47 horas a mais que o determinado em contrato, o que levou ao pagamento efetivo de multas no valor total de R\$ 734,14.

As unidades possuem capacidade limitada de expedição e recepção de leite e semi-elaborados. Conforme ilustrado no quadro a seguir (Tabela 6.5.2), têm-se diferentes linhas de recepção e expedição para diferentes tipos de produto e em números limitados.

<i>Fábricas</i>	<b>Linhas de recepção / expedição</b>		
	<i>Leite</i>	<i>Pré-condensado</i>	<i>Creme</i>
Araras Leite	1	1	-
Araras Refrigerados	1	1	-
Araçatuba	3	1	1
Araraquara	2	2	-
Barra Mansa	3	-	-
Ibiá	3	1	1
Itabuna	2	2	-
Ituiutaba	3	3	1
Goiânia	3	1	1
Rialma	2	1	1
Jataí	2	2	-
Montes Claros	2	2	-
Teófilo Otoni	2	2	-

*Tabela 6.5.2: Número de linhas de recepção e expedição de produtos por fábricas.*

Levando-se em consideração o tempo ideal de descarregamento de uma carreta, seja de leite ou semi-elaborado e o número de linhas para recepção dos produtos pelas unidades, pode-se avaliar o tempo de chegada entre carretas por linha de recepção e determinar faixas de risco para estes intervalos, conforme tabela a seguir (Tabela 6.5.3):

---



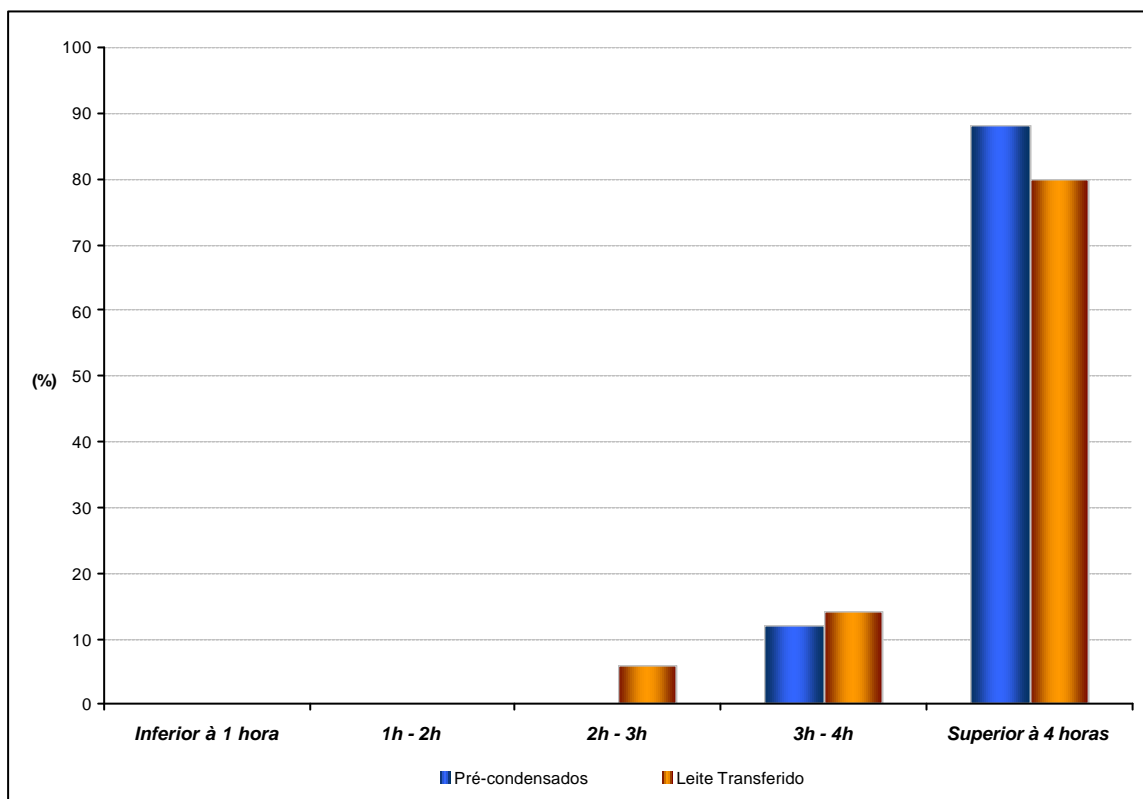
---

<b>Tempo de chegada entre carretas</b>	<b>Avaliação</b>	<b>Risco</b>
Inferior à 1 hora	Inviável	Muito Alto
1h - 2h	Crítico	Alto
2h - 3h	Possível	Médio
3h - 4h	Viável	Baixo
Superior à 4 horas	Ideal	Muito Baixo

*Tabela 6.5.3: Avaliação do tempo de chegada entre carretas.*

Neste caso, considerou-se a possibilidade de se gerar filas de espera para descarregamento, de acordo com a disponibilidade das linhas de recepção. Deste modo, por exemplo, caso duas carreta cheguem em uma unidade com uma linha de recepção, em um intervalo inferior à uma hora, impreterivelmente, uma delas irá aguardar o processo de descarga. Tal fato representa um alto risco em relação à qualidade do produto, relação com transportadoras, multas, etc.

Com base nestas informações e de posse dos resultados gerados pelo modelo, pode-se verificar o tempo de chegada entre carretas por linha de recepção, conforme gráfico a seguir (Gráfico 6.5.2):



*Gráfico 6.5.2: Tempo de chegada entre carretas por linha de recepção / expedição.*

Frente a estas informações, é possível verificar que os resultados gerados pelo modelo atendem as necessidades da empresa. Todas as cargas de pré-condensado chegam às fábricas em intervalos considerados de baixo risco, o que impede a geração de filas para descarregamento. Do mesmo modo acontece com as cargas de leite transferidas, com exceção de um percentual de 8%. Este percentual, entretanto, pode ser eliminado, ajustando-se o horário de recepção do leite na unidade origem (roteirizador e horário de coleta em cooperativas e usinas), junto à região leiteira em questão. No gráfico (Gráfico 6.5.2), o creme não foi considerado por representar um baixo volume e pelo fato das fábricas que o processam possuírem linhas de recepção separadas para o produto.

Considerando, portanto, que utilizando programação semanal com horários ideais elimina-se o problema de tempo de espera, a redução no custo passaria de 2,2% para 2,6%, em relação

---

---

ao método atual, já que os custos a serem comparados devem computar a multa por período de espera.

Além disso, há de se fazer outras considerações:

- I. Tempos de espera na descarga dentro do tolerável impediriam o repasse dos custos operacionais extras para a tarifa de transporte, impactando, diretamente, na redução das mesmas.
  - II. Com o método atual ou o modelo sem penalidades, há atrasos ou antecipações de cargas, o que acarreta em alterações nos planos de produção das fábricas e conseqüente alteração nas necessidades das mesmas. Fatos que geram necessidade de alterações na própria distribuição. Sendo assim, a redução de custo encontrada para a semana, de 4,3%, passa a ser apenas uma previsão de redução ou mesmo, um objetivo de redução. Contudo, o modelo acrescido das penalidades de horários gera um resultado real e possível de ser cumprido.
  - III. Na época de safra, com um alto volume de entrada de leite, o ganho com a redução de pagamento de multas tende a ser maior, já que o volume transportado é maior e, conseqüentemente, o número de carretas e o tempo de espera para descarregamento também são maiores.
  - IV. Os resultados obtidos pelo modelo acrescido de penalidades, além da redução real de custos, geram um ganho na qualidade do produto transportado e conseqüentemente, no produto final, reduzindo o tempo de permanência da matéria-prima nos tanques dos caminhões, respeitando níveis de estoques máximo nas unidades.
-

---

## **7. CONCLUSÃO**

Neste capítulo, é apresentada uma análise do modelo e dos resultados obtidos. Em seguida, são discutidos pontos potenciais de melhoria para o modelo proposto.

### **7.1 Análise do Modelo**

A partir das considerações feitas ao longo deste trabalho é possível verificar que o modelo proposto atende às necessidades da empresa no que tange a resolução do problema descrito. Através de um modelo de programação linear foram consideradas restrições técnicas, econômicas e de qualidade, incluindo horários ideais de produção e recepção de matéria-prima, relativas às diferentes fábricas de produtos lácteos envolvidas no processo de distribuição, alocação e transferências de leite fresco.

Do ponto de vista técnico, a formulação do problema como um modelo de programação linear proporciona um conjunto de vantagens, haja vista o tempo de processamento reduzido em comparação de programação não linear ou com variáveis inteiras, além da possibilidade de garantir que as soluções obtidas serem ótimas globais.

Os resultados gerados pela otimização mostraram-se adequados à proposta elaborada, fornecendo soluções viáveis operacionalmente e economicamente. Em relação a esse último critério, a redução dos custos mostrou-se significativa e passível de implantação, já que são consideradas as restrições de infra-estrutura existente atualmente. Adicionalmente, os resultados proporcionaram identificar pontos e processos críticos, através de uma análise de sensibilidade, além de um ganho na qualidade do produto transportado e conseqüentemente, no produto final, reduzindo o tempo de permanência da matéria-prima nos tanques dos caminhões, respeitando níveis de estoques máximo nas unidades.

A implantação do modelo também proporcionaria um foco maior no direcionamento dos investimentos futuros, com a identificação de gargalos no sistema, além da possibilidade de

---

---

simulações de cenários e avaliação de impacto de alterações relativas à produção, à demanda e aos transportes nos custos logísticos.

Há de se ressaltar, entretanto, que os parâmetros de entrada referentes ao volume de leite tratam-se de previsões, haja vista a quantidade comprada de produtores próprios, equivalente à metade do volume total, e às peculiaridades que cercam este processo, afetando a precisão das informações inseridas no sistema e obtidas pelo mesmo. Entretanto, este fato não influencia somente no modelo proposto. Estas variações também têm de ser absorvidas e tratadas pelo modelo atualmente utilizado.

## **7.2 Pontos Potenciais de Melhoria**

Devido à limitação de capacidade do software utilizado, houve necessidade de diminuir o número de restrições. As saídas e transferências e os percursos não realizados foram cancelados. Estas medidas não comprometeram a validade dos resultados, já que apenas as saídas e transferências realmente inviáveis foram descartadas. Entretanto, o sistema teve de considerar um horizonte de 96 períodos, ao invés dos 192 períodos inicialmente considerados, o que resultou em uma necessidade extra de processar o problema duas vezes para uma mesma semana. Neste caso, como alternativa, poder-se-ia utilizar algum *software* de otimização mais robusto, para aplicações de modelos com grande número de variáveis e restrições.

Uma outra alternativa, a qual está sendo estudada pela empresa, seria a implantação deste modelo em parceria com a “Linear Softwares Matemáticos”, junto ao sistema *Optimum*. Este, a partir de previsões mensais de demanda, sugere os níveis ótimos de compra, venda e estocagem de produtos lácteos. Entretanto, não é suficiente apenas compatibilizar as metas de consumo e suprimento de leite dentro de cada mês, já que é necessário um balanço lácteo diário para cada fábrica, calculado a partir das necessidades semanais de cada uma. Essa tarefa poderia ser, então, realizada pelo modelo proposto, integrando ao sistema *Optimum* o plano operacional de produção.

---

---

Outro ponto a ser estudado refere-se à simplificação feita em relação à igualdade dos custos de produção em todas as unidades. Como possível alternativa de melhoria, poderia ser sugerida a diferenciação entre esses valores.

---

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COLLIN, E.C.; CIPPARRONE, F.A.M.; SHIMITZU, T. **Otimização do Custo de Transporte na Distribuição – Armazenagem de Açúcar**. Produção, Vol. 9, nº 1, p 23-30. Rio de Janeiro, 1999.

GOLDBARG, M.C.; LUNA, H.P.L. **Otimização Combinatorial e Programação Linear: Modelos e Algoritmos**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

GUTIERREZ, C.J. *Development and Application of a Liner Programming Model to Optimize Production and Distribution of a Manufactory Company*. Tese de Mestrado apresentada ao Massachusetts Institute of Technology, 1996.

HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, J.G. **Introdução à Pesquisa Operacional** 3ª ed. São Paulo: Campus, 1988.

JOLAYEMI, J.K.; OLORUNNIWO, F.O. *A Deterministic Model for Planning production Quantities in a Multi-Plant, Multi-Warehouse Environment with Extensible Capacities*. *International Journal of Production Economics*, p. 01-14, 2003.

KAWAMURA, M.S. **Modelo de Planejamento de Produção e Distribuição Física em uma Indústria Alimentícia**. Trabalho de Formatura apresentado ao Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2000.

LEE, Y.H.; KIM, S.H. *Production-Distribution Planning in Supply Chain Considring Capacity Constraints*. *Computer & Industrial Engineering*, p. 169-190, 2002.

PEDROSA, S. *DPA News*. Brasil, Argentina, Venezuela. Año 1, nº 1, Maio/Junho, 2003.

---

---

RESENDE, J. C. e VILELA, D. **Produção de leite a pasto ou em confinamento: onde se lucra mais?** <http://www.milkpoint.com.br/espacoaberto>, acesso em 20 de setembro de 2005.

TAUBE-NETTO, M. **Integrated Planning for Poultry Production at Sadia**. Interfaces, vol. 26, nº 1, p. 38-53, 1996.

YOSHIZAKI, H.T.Y.; MUSCAT, A.R.N.; BIAZZI, J.L. **Decentralizing Ethanol Distribution in Southeastern Brazil**. Interfaces, v. 26, p. 24-34, 1996.

---



---

What'sBest! 5.0 Status Report

9/28/05 3:31 PM

Solver memory allocated: 365568

Model Type: LINEAR

The smallest and largest coefficients in the model were:

0.15840000E-01                      2000.0000

The smallest coefficient occurred in constraint cell: 'Rest-I'!FS7  
on optimizable cell: Prod!AA7

The largest coefficient occurred in constraint cell: 'Rest-I'!BK7  
on optimizable cell: <RHS>

CLASSIFICATION STATISTICS	Current /	Maximum
Numeric	924323 /	1100000
Adjustable	30136 /	32000
Constraints	15812 /	16000
Integers	0 /	3200
Optimizable	56202	
Nonlinear	0 /	0
Coefficients	136009	

Tries: 15149 Infeasibility: 0 Objective: 135099.9

Solution Status: GLOBALLY OPTIMAL.

Solution Time: 0 Hours 11 Minutes 46 Seconds

End of report.

---

---

		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
	ARARAS LEITES	26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
RECEBIMENTO DE OUTRAS UNIDADES								
GO	PRÉ INTEGRAL			100				100
NECESSIDADES FÁBRICA								
	Pré integral			100				100
	Creme		8		8			

		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
	ARARAS REFRIGERADOS	26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
RECEBIMENTO DE OUTRAS UNIDADES								
GO	PRÉ INTEGRAL	200	100	200	100	100	100	200
	PRÉ DESNATADO	110	110	110	110	110	110	220
NECESSIDADES FÁBRICA								
	Pré integral	200	100	200	100	100	200	200
	Pré desnatado	110	110	110	110	110	220	220

		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
	ARAÇATUBA	26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
ENTRADA DE LEITE								
	Araçatuba Próprio + Terceiros	797	795	797	795	795	797	797
	Leite integral - Patos de Minas	21		21	21		21	
	TOTAL	818	795	818	816	795	818	797
RECEBIMENTO DE OUTRAS UNIDADES								
GO	PRÉ DESNATADO	110	220	220	220	220	220	110
NECESSIDADES FÁBRICA								
	Leite integral	818	795	818	816	795	818	797
	Pré desnatado	110	220	220	220	220	220	110
	Creme	56	56	16				

---

---

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
ARARAQUARA	26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
ENTRADA DE LEITE							
Leite Região	130	130	130	130	130	130	130
TOTAL	130	130	130	130	130	130	130
RECEBIMENTO DE OUTRAS UNIDADES							
CONFEPAR	PRÉ INTEGRAL	300	300	300			300
NECESSIDADES FÁBRICA							
Leite integral		130	130	130	130	130	130
Pré integral		300	300	200			300

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
BARRA MANSA	26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
ENTRADA DE LEITE							
Leite Região	227	253	255	263	221	125	278
Teófilo Otoni	26						
TOTAL	253	253	255	263	221	125	278
ENVIO PARA OUTRAS UNIDADES							
Teófilo Otoni	Leite Integral				100	52	
NECESSIDADES FÁBRICA							
Leite integral		253	253	255	263	121	278

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
IBIÁ	26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
ENTRADA DE LEITE							
Leite Região	450	554	478	554	450	460	377
TOTAL	450	554	478	554	450	460	377
ENVIO PARA OUTRAS UNIDADES							
Ituiutaba	Leite Integral	190	274	188	274	160	117
NECESSIDADES FÁBRICA							
Leite integral		260	280	290	280	290	260
Creme (Oferta)		16	28	28	28	16	28

---

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
ITABUNA	26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
<b>ENTRADA DE LEITE</b>							
Leite Região	127	163	136	192	131	153	144
Leite integral - Teixeira Freitas	103	102	108			111	105
<b>TOTAL</b>	<b>230</b>	<b>265</b>	<b>244</b>	<b>192</b>	<b>131</b>	<b>264</b>	<b>249</b>
<b>RECEBIMENTO DE OUTRAS UNIDADES</b>							
TO	PRÉ INTEGRAL		200	300	200	300	
<b>NECESSIDADES FÁBRICA</b>							
Leite integral	230	265	244	192	134	264	249
Pré integral		200	300	200	300		

	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
ITUIUTABA	26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
<b>ENTRADA DE LEITE</b>							
Leite Região	474	434	477	437	460	510	414
Leite integral - Ibiá	190	274	188	274	160	180	117
Leite integral - Patos de Minas	204	220	194	205	215	287	310
<b>TOTAL</b>	<b>868</b>	<b>928</b>	<b>859</b>	<b>916</b>	<b>835</b>	<b>977</b>	<b>841</b>
<b>RECEBIMENTO DE OUTRAS UNIDADES</b>							
GO	PRÉ INTEGRAL	100	200	200	100	300	
	PRÉ DESNATADO	220	110				
RI	PRÉ INTEGRAL		100	200			
	PRÉ DESNATADO	220					
JT	PRÉ INTEGRAL	300	400	300	400	300	300
CO	PRÉ INTEGRAL				100	100	300
<b>RECEBIMENTO TOTAL</b>							
Recebimento	Leite integral	868	928	859	916	835	977
	Pré integral	400	700	700	500	700	600
	Pré desnatado	440	110				

		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
	GOIÂNIA	26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
<b>ENTRADA DE LEITE TOTAL</b>								
	Leite Região	629	597	554	598	653	547	579
	Leite integral - Patos de Minas	100	100	100	100	100	100	100
	<b>TOTAL</b>	<b>729</b>	<b>697</b>	<b>654</b>	<b>698</b>	<b>753</b>	<b>647</b>	<b>679</b>
<b>ENVIO PARA OUTRAS UNIDADES</b>								
Araras Leite	Pré Integral			100				100
Araras Refrigerado	Pré Integral	200	100	200	100	100	100	200
	Pré Desnatado	110	110	110	110	110	110	220
Ituiutaba	Pré Integral	100	200	200	100	300		
	Pré Desnatado	220	110					
Araçatuba	Pré Desnatado	110	220	220	220	220	220	110

		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
	RIALMA	26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
<b>ENTRADA DE LEITE</b>								
	Leite Região	230	209	280	235	230	210	231
	<b>TOTAL</b>	<b>230</b>	<b>209</b>	<b>280</b>	<b>235</b>	<b>230</b>	<b>210</b>	<b>231</b>
<b>ENVIO PARA OUTRAS UNIDADES</b>								
Ituiutaba	Pré integral		100	200				
	Pré Desnatado	220						

		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
	JATAÍ	26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
<b>ENTRADA DE LEITE</b>								
	Leite Região	425	284	387	314	405	271	404
<b>ENVIO PARA OUTRAS UNIDADES</b>								
Ituiutaba	Pré Integral	300	400	300	400	300	400	300

		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
MONTES CLAROS		26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
ENTRADA DE LEITE								
Leite Região		298	272	298	292	293	299	298
TOTAL		298	272	298	292	293	299	298
RECEBIMENTO DE OUTRAS UNIDADES								
TO	PRÉ INTEGRAL	400	200	100	200	100	400	400
NECESSIDADES FÁBRICA								
Leite integral		298	272	298	292	293	299	298
Pré integral		400	200	100	200	100	400	400

		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
TEÓFILO OTONI		26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
ENTRADA DE LEITE								
Leite Região		424	409	451	383	450	410	450
Leite Barra Mansa						100	52	
Leite Teixeira de reitas					100	103		
TOTAL		424	409	451	483	653	462	450
ENVIO PARA OUTRAS UNIDADES								
Montes Claros	Pré integral	400	200	100	200	100	400	400
Itabuna	Pré integral			200	300	200	300	

		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
PATOS DE MINAS		26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
ENTRADA DE LEITE								
Leite Região		325	320	315	326	315	408	410
ENVIO PARA OUTRAS UNIDADES								
Ituiutaba	Leite integral	204	220	194	205	215	287	310
Araçatuba	Leite integral	21		21	21		21	
Goiânia	Leite integral	100	100	100	100	100	100	100

---

		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
	CONFEPAR	26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
ENVIO PARA OUTRAS UNIDADES								
Araraquara	Pré Integral	300	300	300				300
Ituiutaba	Pré Integral					100	100	300

		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
	CREME	26-set	27-set	28-set	29-set	30-set	1-out	2-out
AT	NECESSIDADE	56	56	16				
	Ibiá	16	28	16				
	Confepar	24	28					
	Goiânia	16						
AR-LEITE	NECESSIDADE		8		8			8
	Ibiá		8		8			8
GOIÂNIA	Ibiá				20	28	16	20
	Rialma	8						
	Goiânia		16	12	12	12	12	12

---