



SPOLM 2009

ISSN 2175-6295

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

051/2009 - Otimização no Planejamento Agregado de Produção em Indústrias de Processamento de Suco Concentrado Congelado de Laranja

José Renato Munhoz

Universidade Federal de São Carlos
Rodovia Washington Luis, km 235 – São Carlos - SP
jose.munhoz@citrovita.com

Reinaldo Morabito

Universidade Federal de São Carlos
Rodovia Washington Luis, km 235 – São Carlos - SP
morabito@ufscar.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de programação linear para apoiar decisões no processo de planejamento agregado da produção de suco concentrado congelado de laranja. A modelagem proposta incorpora o planejamento de colheita da laranja, levando-se em consideração as curvas de maturação das laranjas. O modelo incorpora grande parte da cadeia de suprimentos envolvida no setor de produção de suco concentrado congelado de laranja. Outro ponto a destacar é a consideração do processo de mistura de diferentes tipos de sucos para a obtenção da especificação de *ratio* do produto acabado. No caso desse estudo, utiliza-se a acidez da laranja como base de cálculo para a especificação de *ratio* do produto acabado. A modelagem do problema utiliza conceitos de problemas de mistura e planejamento de produção com múltiplos produtos, estágios e períodos. Para resolver o modelo de programação linear, utilizou-se uma linguagem de modelagem algébrica e um aplicativo de última geração de solução de problemas de programação matemática. Um estudo de caso foi realizado em uma empresa de suco de laranja localizada no Estado de São Paulo, envolvendo várias plantas e com uma rede de distribuição internacional com características típicas de outras empresas do setor. Os resultados indicam que a abordagem aqui proposta pode ser aplicada em situações reais.

Palavras-chave: Programação linear, processo de mistura, suco concentrado congelado de laranja, problemas de planejamento de produção com múltiplos produtos, estágios e períodos.

Abstract

This work aim at developing a model using linear programming to support decision making in the frozen concentrated orange juice planning process. The proposed model includes orange harvesting plan, which takes into account oranges maturation curves. The model incorporates a large portion of the supply chain involved in the frozen concentrated orange juice sector. Another point to highlight is the inclusion of the blending process of different types of juices to match ratio specification of the product. This study uses orange acidity to calculate ratio specification of the product. The problem modeling uses blending

problem concepts and production planning with multiples products, stages and periods concepts as well. To solve the linear programming model, an algebraic modeling language and a state of art optimization solver of mathematical programming problems is used. A case study was developed in an orange juice company located in the São Paulo State. This company has many facilities and a worldwide distribution system, similar to other companies in this sector. The results show that the proposed approach can be used in real situations.

Keywords: *linear programming, blending process, frozen concentrated orange juice, production planning with multiples products, stages and periods.*

1. INTRODUÇÃO

Na indústria de processamento de suco de laranja, o processo de obtenção de um produto final (suco concentrado congelado de laranja) a partir das matérias-primas (variedades de laranjas) disponíveis no mercado, envolve uma grande quantidade de informações. O processamento e a análise dessas informações podem apoiar a empresa na geração de um diferencial competitivo, que é a excelência no gerenciamento integrado da cadeia de suprimentos. A coordenação da produção, estoques e transporte de matérias-primas (diferentes variedades de laranja), produtos intermediários (sucos concentrados de laranja de diferentes variedades de laranja, chamados de bases) e produtos finais (sucos concentrados congelados de laranja obtidos pelas misturas de diferentes bases) é particularmente importante devido à combinação da sazonalidade da fruta e à relativa estabilidade na demanda por produtos.

A utilização de modelos de otimização linear para representar tal processo, pode resultar em um poderoso instrumento para análise de decisões táticas e operacionais, conforme observado em Munhoz e Morabito [15], [16]. Dentro desse contexto, o presente trabalho utiliza programação linear para dar tratamento às informações, buscando suprir subsídios ao tomador de decisão na busca à excelência na gestão da cadeia de suprimentos. Sendo que a análise conjunta do processo de fornecimento das frutas até a geração dos produtos acabados para suprir a demanda é um aspecto importante desse trabalho.

O objeto desse estudo é o processo de planejamento agregado da produção de sucos concentrados congelados de laranja desde a colheita até a geração dos produtos finais. Esse processo de planejamento se inicia na colheita das variedades de laranja e passa pelo processamento dessas frutas, gerando bases de suco concentrado. Essas bases de suco são então combinadas em um processo de mistura, de forma a atender às especificações dos diferentes produtos acabados. Neste trabalho, admite-se como conhecidos as disponibilidades de laranjas nos fornecedores, as demandas por produtos acabados, os custos de armazenagem, os custos de falta de produto, os custos de cada variedade de laranja, as especificações qualitativas de cada variedade de laranja e dos produtos acabados, e restrições importantes desse processo, tais como capacidades de colheita e processamento. Não é objetivo desse trabalho considerar restrições da logística de distribuição dos produtos, tais como capacidades de armazenagem de produto, capacidades de transporte de produto, entre outros.

Este trabalho considera que o processo de planejamento em questão se dá no nível tático da organização, onde se trabalha com um horizonte rolante anual e com famílias de produtos. Essas famílias de produtos, por exemplo, consistem na agregação de produtos acabados em faixas de especificações do produto, de forma a simplificar a análise para apoiar a tomada de decisão. Não é objetivo deste trabalho desagregar o resultado do processamento, ou seja, detalhar a necessidade de laranjas por unidades industriais, assim como planos detalhados de produção por produto. O trabalho utiliza como referência uma empresa típica do setor de processamento de suco de laranja de abrangência internacional, no entanto os conceitos aqui abordados podem ser aplicados a outras empresas similares do setor.

O modelo proposto deve responder algumas questões básicas como: quanto, quando e como (processo de mistura) deve ser produzido o suco, desde a colheita até o atendimento da demanda. O modelo deve fornecer tais resultados respeitando-se restrições dos recursos produtivos e visando a minimização de custos envolvidos. O modelo considera que o

planejamento é parcialmente orientado pela restrição de demanda (lembrando que, antes de iniciar uma nova safra, tem-se parte do volume a ser produzido já comprometido com vendas), e parcialmente dirigido por um processo de planejamento orientado pela restrição de matéria-prima. A fruta própria da empresa, assim como a fruta previamente contratada, são dados de entrada para o planejamento. Esta fruta deve ser totalmente utilizada, ou seja, o planejamento é um processo de empurrar o fornecimento de material para dentro do sistema. Por outro lado, há uma segunda parcela de matéria-prima que não está contratada (normalmente contratos de curto prazo e *spot*), e o processo de fornecimento pode ser puxado para dentro do sistema, orientado pela demanda. Esses aspectos devem estar devidamente representados no modelo, cuja solução consome a parcela empurrada e utiliza apenas o mínimo necessário da parcela puxada, conforme determinação da demanda por produtos acabados.

A justificativa destes objetivos aqui propostos está, primeiro, na extensão do modelo de programação linear proposto por Munhoz [13] e Munhoz e Morabito [15], [16], no sentido de incorporar o planejamento de colheita ao problema e utilizar equações de mistura com cálculo de *ratio* resultante à partir da acidez dos diferentes componentes da mistura. Esta extensão torna o modelo (ainda de programação linear) uma ferramenta de suporte e análise à tomada de decisão mais poderosa e efetiva. Segundo, academicamente o autor desconhece trabalhos na literatura que dêem tratamento ao objeto deste estudo utilizando tal abordagem. Por meio de pesquisa bibliográfica, identificou-se poucos trabalhos que tratam do tema otimização aplicada ao suco concentrado de laranja, como por exemplo, Pinto [17], que utiliza programação linear inteira-mista para apoiar à decisão sobre sistemas de distribuição de suco concentrado de laranja e Caixeta Filho [3], [4] que apresenta uma modelagem matemática para o gerenciamento da programação de colheita da laranja. Porém, são os trabalhos de Munhoz [13] e Munhoz e Morabito [15], [16] que mais se aproximam da abordagem aqui proposta e servem de ponto de partida para esse estudo.

2. A INDÚSTRIA DE SUCO DE LARANJA

Segundo Viegas *et al.* [20], o desenvolvimento da indústria de suco de laranja se deu nos EUA na década de 30, devido ao aumento do consumo do produto. Em 1944 teve início a comercialização de suco concentrado congelado de laranja. No Brasil, as primeiras agroindústrias processadoras de suco de laranja iniciaram operação no início dos anos 60 [5]. Na véspera do Natal de 1962, os laranjais da Flórida nos EUA amanheceram cobertos de geada. Os danos sobre os pomares de laranja foram enormes, obrigando os americanos a procurar laranja pelo mundo, a fim de abastecer o gigantesco mercado americano. O Brasil, que já engatinhava na produção de sucos, foi um dos países diretamente beneficiados pela geada [10].

Segundo Hasse [10], a primeira fábrica de suco concentrado e congelado, nos moldes americanos, implantada no Brasil, foi a Suconasa (Sucos Nacionais S.A.) em Araraquara-SP no ano de 1963. Segundo o autor foi praticamente um transplante: tinha causas, motivações, agentes, capital, tecnologia e mercado externos. Não era iniciativa completamente americana, porque, na realidade, foi realizada por um porto-riquenho chamado Pedro Santiago, dono da Toddy do Brasil. Antes da Suconasa, o mais típico exemplo de indústria de suco de laranja existente foi a Companhia Mineira de Conservas, criada em 1962, em Bebedouro-SP, pelo engenheiro austríaco Eduardo Rinzler. O suco era embalado a quente (sistema “*hot pack*”), depois de receber um conservante à base de dióxido de enxofre e benzoato de sódio, para evitar fermentação [10].

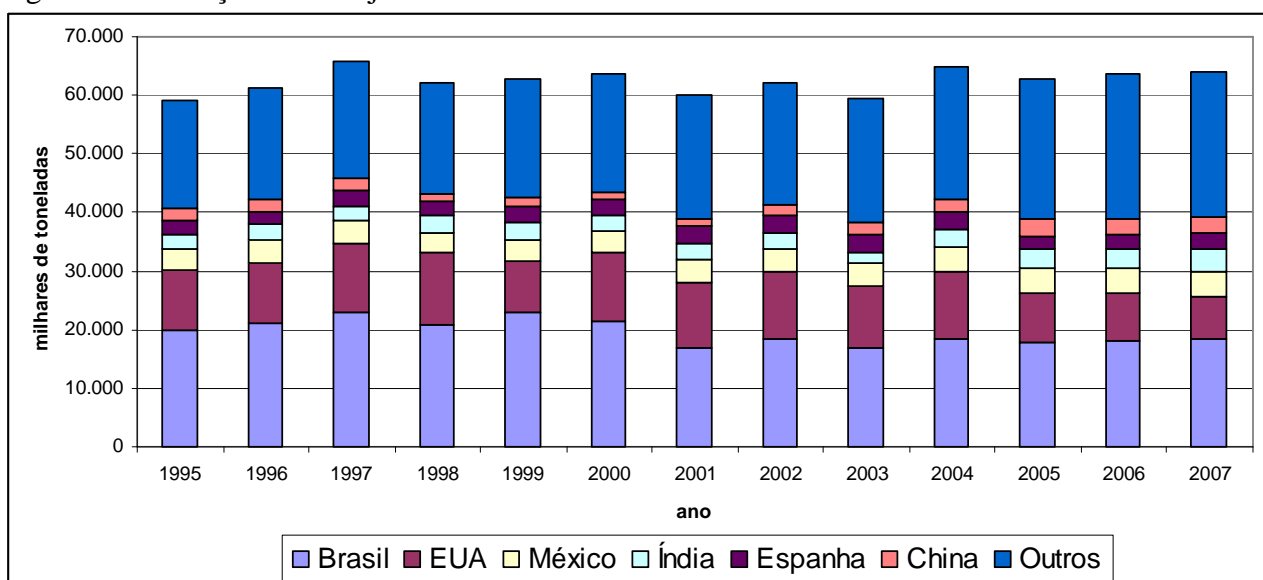
Segundo Maia [12], o Brasil exportou o suco concentrado congelado de laranja pela primeira vez em 1962, com volume de 235 toneladas, gerando 84 mil dólares. No início dos anos 80, o Brasil tornou-se o maior produtor e exportador mundial de suco, ultrapassando os EUA [5]. A Tabela 1 apresenta alguma terminologia utilizada na indústria cítrica, a Figura 1 apresenta como está a produção de laranja e a Figura 2 apresenta como estão as exportações

de suco concentrado de laranja no mundo nos últimos anos (note a destacada liderança do Brasil na produção e exportação desse produto).

Tabela 1 – Terminologia utilizada na indústria cítrica

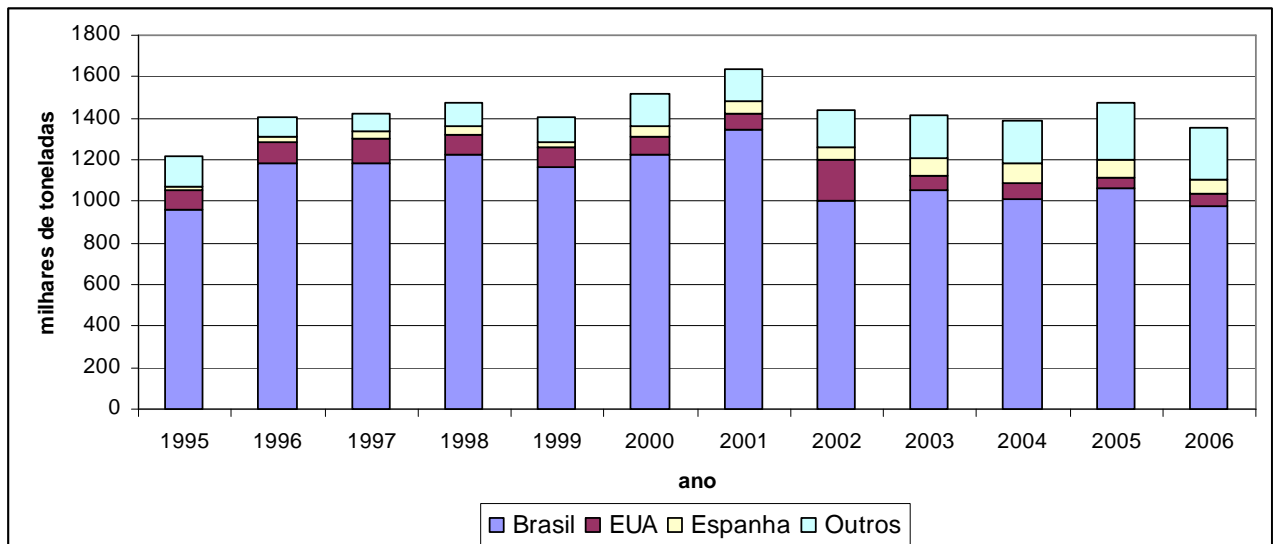
| | |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Caixa de fruta | unidade de peso equivalente a 40,8 quilos ou 90 libras |
| Brix | refere-se a porcentagem de sólidos solúveis ou açúcares e ácidos, sendo quantificado em graus brix através de refratômetro. O refratômetro é um instrumento utilizado para medir o índice de refração de soluções. |
| Acidez | depois dos açúcares, os ácidos são os sólidos solúveis presentes em maior quantidade no suco. O teor de ácidos é determinado por titulação. |
| Ratio | é a relação brix/acidez e fornece o grau de maturação e qualidade do suco. |
| Variedade | as variedades de laranja Pêra, Natal e Valência são as mais indicadas para a industrialização, enquanto a variedade Hamlin, por ser mais precoce, permite que a fábrica opere economicamente no início da safra, mas fornece um suco de qualidade inferior e de pouca aceitação no mercado. |

Figura 1 – Produção de laranjas em milhares de toneladas



Fonte: F.A.O. [6], [7]

Figura 2 – Exportações de suco concentrado de laranja em milhares de toneladas



Fonte: F.A.O. [8], [9]

Nesse contexto o processo de planejamento utilizado para esse trabalho se dá no nível tático da organização, onde se analisam simultaneamente os estoques de passagem de uma safra para outra, um plano de demanda por produtos acabados e um plano de disponibilidade de matéria-prima (Figura 3). A capacidade dos recursos produtivos é uma importante restrição.

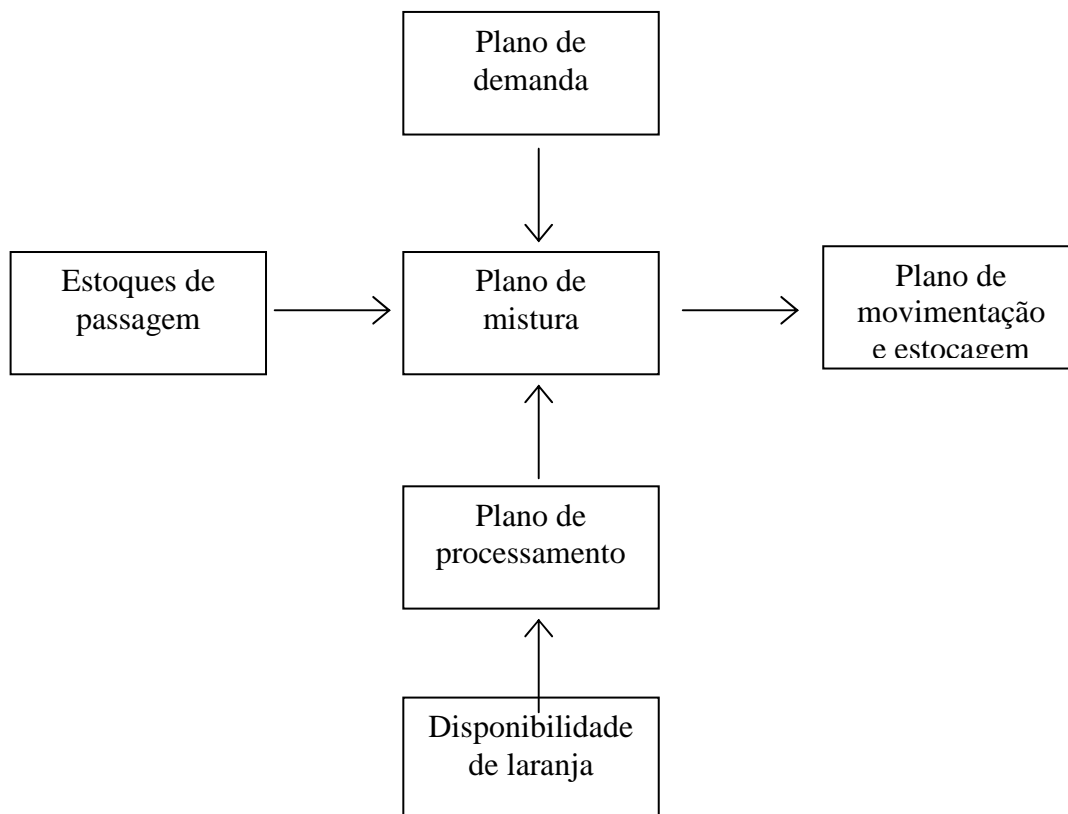


Figura 3 – Planejamento básico da safra

O plano de disponibilidade de laranja, que também pode ser chamado de planejamento de colheita, é elaborado à partir de diversos parâmetros, com destaque para a curva que

representa a evolução da maturação da fruta ao longo do tempo, que aqui é representada pelo parâmetro *ratio*, conforme definido na Tabela 1.

3. O MODELO DETERMINÍSTICO

A seguir apresenta-se resumidamente o modelo de programação linear para representar o problema; para mais detalhes deste modelo, o leitor pode consultar Munhoz [14].

ÍNDICES

i = família de suco, que é referenciada apenas como suco;

t = período de planejamento (mês);

j = família de laranja j que gera a base de suco j , que será referenciado apenas como laranja e base, respectivamente;

f = fornecedor de laranja f ;

g = tipo de laranja g ;

DADOS FORNECIDOS

ELI_{fg0} = estoque inicial de laranja base no fornecedor f do tipo g ($t = 0$) em caixas de laranja de 40,8 kg

$ELHI_{f0}$ = estoque inicial de laranja precoce no fornecedor f ($t = 0$) em caixas de laranja de 40,8 kg

HSI_{i0} = estoque inicial de suco i ($t = 0$) em toneladas

HHI_0 = estoque inicial de precoce i ($t = 0$) em toneladas

HBI_{j0} = estoque inicial de base j ($t = 0$) em toneladas

FSI_{i0} = falta de estoque inicial de suco i ($t = 0$) em toneladas

FHI_0 = falta de estoque inicial de precoce i ($t = 0$) em toneladas

FBI_{j0} = falta de estoque inicial de base j ($t = 0$) em toneladas

DTH_t = máximo de dias disponíveis para processamento no período t

DTL_t = mínimo de dias disponíveis para processamento no período t

CP_t = capacidade de processamento diária no período t em caixas de laranja de 40,8 kg

$RatioSH_i$ = ratio máximo do suco i

$RatioSL_i$ = ratio mínimo do suco i

$RatioB_j$ = ratio da base j

$RatioH$ = ratio esperado da precoce

$PorcentagemH_{jt}$ = porcentagem esperada de precoce possível de se adicionar na base j no período t

$RendimentoB_{jt}$ = rendimento industrial esperado da laranja j gerando a base j no período t em caixas de laranja/tonelada

$RendimentoH_t$ = rendimento industrial esperado da laranja precoce gerando precoce no período t em caixas de laranja/tonelada

$Demanda_{it}$ = demanda esperada do suco i no período t em toneladas

$CustoHS_{it}$ = custo armazenagem do suco i no período t (unidades monetárias/tonelada)

$CustoHH_t$ = custo armazenagem de precoce no período t (unidades monetárias/tonelada)

$CustoHB_{jt}$ = custo armazenagem de base j no período t (unidades monetárias/tonelada)

$CustoFS_{it}$ = custo de falta de suco i no período t (unidades monetárias/tonelada)

$CustoFH_t$ = custo de falta de precoce no período t (unidades monetárias/tonelada)

$CustoFB_{jt}$ = custo de falta de base j no período t (unidades monetárias/tonelada)

$CustoQL_{fgt}$ = custo da laranja base do fornecedor f do tipo g no período t (unidades monetárias/caixa de 40,8kg)

$CustoQLH_{ft}$ = custo da laranja precoce do fornecedor f no período t (unidades monetárias/caixa de 40,8kg)

DL_{fgjt} = disponibilidade da laranja base j do fornecedor f do tipo g no período t (0= não tem; 1= tem)

DH_{ft} = disponibilidade da laranja precoce do fornecedor f no período t (0= não tem; 1= tem)

CF_{ft} = capacidade de fornecimento de laranja (base e precoce) do fornecedor f no período t em caixas de laranja de 40,8 kg

DADOS CALCULADOS

CPH_t = capacidade de processamento industrial máxima no período t em caixas de laranja de 40,8 kg

CPL_t = capacidade de processamento industrial mínima no período t em caixas de laranja de 40,8 kg

ASH_i = acidez máxima do suco i

ASL_i = acidez mínima do suco i

AB_j = acidez da base j

AH = acidez da precoce

CÁLCULOS

$$CPH_t = CP_t \times DTH_t \quad \forall t$$

$$CPL_t = CP_t \times DTL_t \quad \forall t$$

$$ASH_i = 66 / RatioSL_i \quad \forall i$$

$$ASL_i = 66 / RatioSH_i \quad \forall i$$

$$AB_j = 66 / RatioB_j \quad \forall j$$

$$AH = 66 / RatioH$$

VARIÁVEIS DE DECISÃO

QL_{fgjt} = quantidade de laranja j gerando base j a ser processada no período t proveniente do fornecedor f do tipo g , em caixas de 40,8kg;

QLH_{ft} = quantidade de laranja precoce gerando precoce no período t proveniente do fornecedor f , em caixas de 40,8kg;

QS_{it} = quantidade de suco i produzido no período t em toneladas;

QHP_t = quantidade de precoce produzida no período t em toneladas;

QBP_{jt} = quantidade de base j produzida no período t em toneladas;

QH_{jti} = quantidade de precoce consumida na base j para produzir suco i no período t em toneladas;

QB_{jti} = quantidade de base j consumida para produzir suco i no período t em toneladas;

HS_{it} = estoque de suco i no período t em toneladas;

HH_t = estoque de precece no período t em toneladas;

HB_{jt} = estoque de base j no período t em toneladas;

FS_{it} = falta de suco i no período t em toneladas;

FH_t = falta de precece no período t em toneladas;

FB_{jt} = falta de base j no período t em toneladas;

EL_{fgt} = estoque de laranja base no fornecedor f do tipo g no período t em caixas de laranja de 40,8 kg;

ELH_{ft} = estoque de laranja precece no fornecedor f no período t em caixas de laranja de 40,8 kg;

FUNÇÃO OBJETIVO

$$\begin{aligned} Z = \min & \sum_f \sum_g \sum_t \sum_j \text{Custo}QL_{fgt} \times QL_{fgjt} + \sum_f \sum_t \text{Custo}QLH_{ft} \times QLH_{ft} + \\ & + \sum_t \sum_i (\text{Custo}HS_{it} \times HS_{it} + \text{Custo}FS_{it} \times FS_{it}) + \\ & + \sum_t (\text{Custo}HH_t \times HH_t + \text{Custo}FH_t \times FH_t) + \\ & + \sum_t \sum_j (\text{Custo}HB_{jt} \times HB_{jt} + \text{Custo}FB_{jt} \times FB_{jt}) \end{aligned}$$

RESTRICÇÕES

Restrição de o nível total de processamento desse planejamento tático respeitar (planejamento hierárquico) a definição estratégica de nível de processamento:

$$\sum_f \sum_g \sum_t \sum_j QL_{fgjt} + \sum_f \sum_t QLH_{ft} \geq \sum_f \sum_g ELI_{fg0} + \sum_f ELHI_{f0} - \sum_g ELI_{Spot}g0 - ELHI_{Spot}0$$

Restrições de níveis máximo e mínimo de processamento industrial:

$$CPL_t \leq \sum_f \sum_g \sum_j QL_{fgjt} + \sum_f QLH_{ft} \leq CPH_t \quad \forall t$$

Equações de balanço de material:

$$QS_{it} - Demanda_{it} + HS_{i(t-1)} - FS_{i(t-1)} - HS_{it} + FS_{it} = 0 \quad \forall i, t$$

$$QHP_t - \sum_j \sum_i QH_{jti} + HH_{(t-1)} - FH_{(t-1)} - HH_t + FH_t = 0 \quad \forall t$$

$$QBP_{jt} - \sum_i QB_{jti} + HB_{j(t-1)} - FB_{j(t-1)} - HB_{jt} + FB_{jt} = 0 \quad \forall j, t$$

Equações de mistura para obtenção dos produtos finais conforme especificações a partir de bases e precoces:

$$\left[\sum_j (QB_{jti} \times AB_j + QH_{jti} \times AH) \right] \div ASH_i \leq \left(\sum_j (QB_{jti} + QH_{jti}) \right) \quad \forall i, t$$

$$\left[\sum_j (QB_{jti} \times AB_j + QH_{jti} \times AH) \right] \div ASL_i \geq \left(\sum_j (QB_{jti} + QH_{jti}) \right) \quad \forall i, t$$

$$QH_{jti} \leq PorcentagemH_{jt} \times (QB_{jti} + QH_{jti}) \quad \forall j, i, t$$

$$QS_{it} = \sum_j (QB_{jti} + QH_{jti}) \quad \forall i, t$$

Equações de relação de quantidade de laranja gerando quantidades de bases e precoces, incorporando o fator disponibilidade de fruta nos cálculos:

$$QL_{fgjt} \leq ELI_{fg0} \times DL_{fgjt} \quad \forall f, g, j, t$$

$$QLH_{ft} \leq ELHI_{f0} \times DH_{ft} \quad \forall f, t$$

$$\sum_f \sum_g QL_{fgjt} - QBP_{jt} \times \text{Re n dim ento} B_{jt} = 0 \quad \forall j, t$$

$$\sum_f QLH_{ft} - QHP_t \times \text{Re n dim ento} H_t = 0 \quad \forall t$$

Equações de balanço de material para fornecimento de laranja:

$$EL_{fgt} - EL_{fg}(t-1) + \sum_j QL_{fgjt} = 0 \quad \forall f, g, t$$

$$ELH_{ft} - ELH_{f}(t-1) + QLH_{ft} = 0 \quad \forall f, t$$

Restrição de capacidade de fornecimento de laranja:

$$\sum_j \sum_g QL_{fgjt} + QLH_{ft} \leq CF_{ft} \quad \forall f, t$$

Finalmente, tem-se que todas as variáveis de decisão definidas na seção 4 são não-negativas.

4. ANÁLISE CRÍTICA DO MODELO

O modelo apresentado sucintamente na seção 3, possui os seguintes destaques.

O modelo apresenta processo de planejamento parcialmente orientado pela demanda por produto acabado, e parcialmente orientado pela disponibilidade de matéria-prima. A fruta própria da empresa, assim como a fruta previamente contratada, são dados de entrada para o planejamento onde essa base de matéria-prima deve ser totalmente utilizada, ou seja, é um processo de empurrar o fornecimento de material para dentro do sistema. Por outro lado, há uma segunda parcela de matéria-prima que não está contratada (normalmente contratos de curto prazo e *spot*), e o processo de fornecimento pode ser puxado para dentro do sistema, orientado pela demanda. Esses aspectos estão devidamente representados no modelo, onde a solução consome a parcela empurrada e utiliza apenas o mínimo necessário da parcela puxada, conforme determinação da demanda por produtos acabados.

O modelo incorpora adequadamente a dependência que o *ratio* do suco produzido apresenta em relação ao momento da colheita da laranja, ou seja, uma mesma laranja pode dar origem para diferentes *ratios* de suco em função de sua curva de maturação. Quanto mais tempo fica a laranja no pomar, maior será o *ratio* desta. A solução do modelo responde adequadamente ao objetivo de minimizar os custos da matéria-prima, manutenção de estoques de produtos, assim como custos de falta de produto. Cabe aqui destacar que para efeito desse trabalho, a relação custos de estoques contra custos de faltas de produto, são utilizados na forma de grandezas de valores, de forma a refletir a política da empresa relativamente a esses aspectos.

O modelo incorpora equações de balanço de material para laranja e suco, onde a solução reflete corretamente o comportamento esperado dos estoques e faltas de produtos e matéria-prima ao longo do horizonte de planejamento. O modelo responde corretamente a característica de planejamento hierárquico que determina que deve-se processar no mínimo a fruta de todos os tipos de contratos, exceção aos contratos tipo *spot* que ficam subordinados à demanda por produtos acabados. O modelo incorpora de forma adequada as restrições de capacidade de processamento industrial, assim como de fornecimento de matéria-prima. As equações de mistura estão contidas no modelo, e a solução demonstra a coerente utilização

dos vários tipos de suco em um processo de mistura, visando a obtenção de um determinado produto acabado.

Este modelo foi testado para diversos cenários [14], e a análise crítica dos resultados fornecidos pelo modelo frente aos diferentes parâmetros de entrada, demonstra que a modelagem é consistente. O resultado do plano de mistura apresenta produtos acabados com especificação de *ratio* dentro dos limites estabelecidos, assim como respeita o limite máximo de consumo de base precoce de suco (máximo 15%), o que é demonstrado, por exemplo, na Tabela 2. Note que o formato proposto na Tabela 2 é prático para suportar a implementação desse plano de mistura. A tabela é composta por quadros, representando cada produto final; linhas, representando os diferentes períodos de planejamento e; colunas, indicando quanto de cada componente deve ser consumido em cada período de planejamento. As últimas colunas de cada quadro indicam a acidez, o *ratio* e a porcentagem de precoce adicionada para o produto acabado resultante em cada período, respectivamente. Por exemplo, note que para se produzir 1.500 toneladas de produto acabado “PA13” no período (mês) 1, são necessárias 225 toneladas de “precoce”, 633 toneladas de base “BA11” e 642 toneladas de base “BA14”. Essa mistura resulta em uma acidez 5,077, *ratio* 13,0 e uma adição de 15% de “precoce”, resultados esses que estão dentro das especificações impostas pelo modelo.

Tabela 2 – Amostra do resultado do plano de mistura

| PA13 | (de 13,00 à 13,99) (consumo esperado de precoce: máximo de 15%) | | | | | | | | | |
|--------|-----------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-----------|
| | Precoce | BA11 | BA13 | BA14 | BA15 | BA16 | BA17 | | | |
| ratio | 14,0 | 11,5 | 13,5 | 14,5 | 15,5 | 16,5 | 17,5 | | | |
| acidez | 4,714 | 5,739 | 4,889 | 4,552 | 4,258 | 4,000 | 3,771 | | | |
| mês | Quantidade em toneladas | | | | | | | Acidez | Ratio | % Precoce |
| 1 | 225 | 633 | | 642 | | | | 5,077 | 13,00 | 15,0% |
| 2 | 225 | 633 | | 642 | | | | 5,077 | 13,00 | 15,0% |
| 3 | 225 | 633 | | 642 | | | | 5,077 | 13,00 | 15,0% |
| 4 | 225 | 179 | | 1096 | | | | 4,718 | 13,99 | 15,0% |
| 5 | 225 | | 1275 | | | | | 4,863 | 13,57 | 15,0% |
| 6 | 225 | 179 | | 1096 | | | | 4,718 | 13,99 | 15,0% |
| 7 | 225 | 396 | | | 879 | | | 4,717 | 13,99 | 15,0% |
| 8 | 225 | 527 | | | | 748 | | 4,718 | 13,99 | 15,0% |
| 9 | 225 | 614 | | | | | 661 | 4,718 | 13,99 | 15,0% |
| 10 | 225 | 614 | | | | | 661 | 4,718 | 13,99 | 15,0% |
| 11 | 225 | 614 | | | | | 661 | 4,718 | 13,99 | 15,0% |
| 12 | 225 | 614 | | | | | 661 | 4,718 | 13,99 | 15,0% |

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho é modelar o processo de planejamento agregado da produção de suco concentrado congelado de laranja e, desta forma, constituir uma ferramenta efetiva de apoio e análise à tomada de decisão. Para isso, representa-se as principais decisões envolvidas neste processo de planejamento por meio de um modelo de programação linear. Apresentou-se uma abordagem determinística para o problema, que permite um planejamento mais integrado da cadeia de suprimentos de suco de laranja. Esse modelo pode ser uma ferramenta importante para apoiar o processo de decisão neste sistema. Isto foi realizado por meio de uma extensão do modelo proposto por Munhoz [13] e Munhoz e Morabito [15], [16], ao qual incorpora-se o processo de planejamento de colheita ao processo de planejamento de produção, e também os cálculos de *ratios* à partir da consideração de acidez das bases de suco. Este modelo linear foi resolvido pelo *software* GAMS/CPLEX e os tempos de processamento foram da ordem de poucos segundos, não sendo, portanto, um limitante para a aplicação destas abordagens na prática. Para mais detalhes destes e de outros resultados com a aplicação do modelo, o leitor pode consultar Munhoz [14].

Cabe destacar que a principal contribuição deste estudo está na abordagem de programação linear para apoiar o processo de tomada de decisão no planejamento agregado de produção e colheita. Sendo que, a consideração das curvas de maturação das laranjas no planejamento de colheita e a consideração dos processos de mistura de diferentes tipos de

sucos para obtenção da especificação de *ratio* do produto acabado no planejamento da produção, conduzem a um modelo que incorpora grande parte das decisões envolvidas na cadeia de suprimentos deste setor. Desta forma, o modelo apoia o tomador de decisão na busca à excelência na gestão da cadeia de suprimentos.

A partir desse modelo, que agora incorpora de forma satisfatória os aspectos relevantes da matéria-prima, duas linhas de desenvolvimento interessantes para serem seguidas [14] são:

- Incorporar nesse modelo conceitos de programação por metas no sentido de, uma vez minimizado os custos, buscar a otimização do processo de mistura. No processo de mistura é comum visar que a especificação de *ratio* do produto final fique próximo a média da faixa de especificação.
- Desenvolver modelos de otimização robusta a partir desse modelo determinístico, incorporando as incertezas inerentes a determinados parâmetros do modelo.

Pretende-se reportar os resultados destas duas pesquisas acima em um futuro próximo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Arenales, M., Armentano, V., Morabito, R. e Yanasse, H.: Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro. Campus-Elsevier, 2007.
- [2] Bazarraa, M.S.; Jarvis, J.J. & Sherali, H.D.: Linear Programming and Network Flows. John Wiley & Sons, Inc., 1990.
- [3] Caixeta Filho, J.V.: Estrutura de modelagem para programação de colheita de laranja. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 1993.
- [4] Caixeta Filho, J.V.: Orange harvesting scheduling management: a case study. Journal of the Operational Research Society, v. 57, p. 637-642, 2006.
- [5] Castilho, F.T.: Organização dos produtores para a comercialização da laranja: o caso do pool de produtores de Matão-SP. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal de São Carlos, 2006.
- [6] F.A.O. – Food and Agriculture Organization of the United Nations: Oranges production. Disponível em <http://faostat.fao.org/site/408/desktopdefault.aspx?pageid=408>, acesso em 12/05/2008a.
- [7] F.A.O. – Food and Agriculture Organization of the United Nations: Oranges production. Disponível em <http://faostat.fao.org/site/567/desktopdefault.aspx?pageid=567>, acesso em 01/05/2009a.
- [8] F.A.O. – Food and Agriculture Organization of the United Nations: Orange juice concentrated exports. Disponível em <http://faostat.fao.org/site/412/desktopdefault.aspx?pageid=412>, acesso em 12/05/2008b.
- [9] F.A.O. – Food and Agriculture Organization of the United Nations: Orange juice concentrated exports. Disponível em <http://faostat.fao.org/site/535/desktopdefault.aspx?pageid=535>, acesso em 01/05/2009b.
- [10] Hasse, G.: A laranja no Brasil 1500-1987: a história da agroindústria cítrica brasileira, dos quintais coloniais à fábricas exportadoras de suco do século XX. São Paulo, Duprat & Iobe Propaganda, 1987
- [11] Hillier, F.S. & Lieberman, J.G.: Introduction to Operations Research. New York: McGraw-Hill International Editions, 6ª ed., 1995.
- [12] Maia, M.L.: Citricultura paulista: evolução, estrutura e acordos de preço. São Paulo: I.E.A., 1996.
- [13] Munhoz, J.R.: Um modelo baseado em programação linear e programação de metas para análise de um sistema de produção e distribuição de suco concentrado congelado de laranja. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal de São Carlos, 2000.

- [14] **Munhoz, J.R.:** Otimização no planejamento agregado de produção em indústrias de processamento de suco concentrado congelado de laranja. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal de São Carlos, 2009.
- [15] **Munhoz, J.R. e Morabito, R.:** Um modelo baseado em programação linear e programação de metas para análise de um sistema de produção e distribuição de suco concentrado congelado de laranja. *Gestão & Produção*, v. 8, n. 2, p. 139-159, 2001a.
- [16] **Munhoz, J.R. e Morabito, R.:** A goal programming model for frozen concentrated orange juice production and distribution system. *Opsearch*, v. 38, n. 6, p. 630-646, 2001b.
- [17] **Pinto, K.C.R.:** “Contribuição à Análise de Decisão sobre os Sistemas de Distribuição Física de Suco de Laranja Brasileiro de Exportação”. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1996.
- [18] **Shapiro, J.F.:** Modeling the Supply Chain. Pacific Grove, Califórnia, ed. Duxbury, 2001.
- [19] **Silva, L.C.:** Riscos e Incertezas. Disponível em <http://www.agais.com/risco.htm#T3>, acesso em 14/09/2008.
- [20] **Viegas, F.C.P., Steger, E., Antonio, A.P., Fox, K.I. e Gray, L.E.:** “Processamento dos produtos cítricos com máquinas FMC”, apostila do curso “Processamento de laranja com máquinas FMC”, Araraquara-SP, FMC do Brasil S.A., 1983.