

Programação linear em uma agroindústria: planejamento, redimensionamento e maximização do lucro. O caso de Guaraqueçaba-PR

Jorge Luiz Moretti Souza^{1*}, Agenor Maccari Junior¹ e Jefferson Bittencourt²

¹Departamento de Solos/Setor de Ciências Agrárias/Universidade Federal do Paraná, Núcleo de Apoio a Agroindústria, C.P. 2959, 80001-970, Curitiba-Paraná, Brazil. ²Faculdade de Engenharia Agrícola/Universidade de Campinas, C.P. 6011, 13081-490, Campinas-São Paulo, Brazil. *Author for correspondence. e-mail: jmoretti@carpa.ciagri.usp.br, maccari@agrarias.ufpr.br

RESUMO. Com o auxílio de um modelo de programação linear aplicado à Unidade de Transformação de Produtos Agrícolas de Baturva-PR, o presente trabalho tem como objetivo planejar o nível ótimo de transformação de banana *in natura* em passa e bala. A utilização da programação linear mostrou-se adequada ao gerenciamento das quantidades de produtos transformados e às decisões quanto à ampliação e modificação das instalações da unidade. Simulações mostraram que algumas alterações propostas podem aumentar o lucro da empresa em até 175%.

Palavras-chave: programação linear, agroindústria, gerenciamento.

ABSTRACT. **Linear programming in an agribusiness - planning, reorganization and profit maximization: case study of Guaraqueçaba.** A model of linear programming was applied to the Baturva's Agricultural Products Processing Unit, in order to plan and maximize the banana fruit processing for dried banana (dehydration) and banana candy. The linear programming was appropriate to the management of the amount of transformed products and to the decisions to amplify and modify the plant structure. Simulations showed that some alterations suggested may maximize the projects of the business up to 175%.

Key words: linear programming, agroindustry, management.

A viabilidade técnica e econômica calculada quando da elaboração de projetos de unidades agroindustriais pode sofrer alterações. Tais alterações ocorrem com a execução do projeto e, ao longo do tempo, com o funcionamento da unidade e com alterações no sistema produtivo. É extremamente importante o acompanhamento e a verificação de alterações físicas e operacionais com relação ao projeto inicial. Tais alterações implicam a necessidade de um redimensionamento e de novos estudos de viabilidade para a unidade, estudos que levem a uma melhor caracterização de seus processos operacionais e maximize os seus lucros.

A programação linear é uma ferramenta matemática que permite selecionar, entre um conjunto de atividades viáveis, as que combinadas entre si asseguram o máximo resultado líquido, compatível com dada disponibilidade de recursos fixos. Esta técnica mostra-se versátil, sendo utilizada na solução de problemas como formulação de dieta alimentar,

transporte, programação da produção, otimização de recursos hídricos, utilização de máquinas agrícolas, entre outros (Caixeta Filho, 1997).

A comunidade de Baturva está localizada no município de Guaraqueçaba-PR. Com predomínio de pequenas propriedades, praticando agricultura de subsistência, a principal fonte de renda dos agricultores vem da venda de banana e de palmito.

O uso restrito de fertilizantes e agrotóxicos leva à produção de frutos de qualidade inferior aos padrões exigidos pelo mercado tradicional. Assim, o lucro alcançado na comercialização é pequeno e o produto ainda sofre grande concorrência de outras regiões produtoras (Maccari Jr. e Bittencourt, 1997). Para agregar valor à produção, foi instalada no local uma agroindústria, a Unidade de Transformação de Produtos Agrícolas (UTPA-Baturva). A unidade é capaz de processar palmito e banana, produzindo com esta fruta doce e passa (Walflor, 1994 e Porcheron, 1995).

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo planejar e redimensionar para a UTPA-Batuva, com o auxílio da programação linear, o nível ótimo de transformação de passa e bala de banana, visando a maximização do lucro com os produtos produzidos. Nesta análise será levado em consideração as condições físicas já existentes e a condição de aumento de algumas instalações.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido na Unidade de Transformação de Produtos Agrícolas de Batuva, localizada na Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba-PR, a uma latitude 25°18'S, longitude 48°21'W-GR e 10 metros de altitude. O clima da região é classificado como tropical superúmido, com a temperatura média dos meses mais quentes superior à 22°C e dos meses mais frios superior à 18°C. Os principais centros de comercialização são Paranaguá, a 141km (pelo mar) e Curitiba a 174km (por terra).

As informações trabalhadas no modelo tratam dos diversos aspectos relacionados ao sistema de produção quanto a:

Produção de matéria-prima. A produção mensal de bananas *in natura* na região nos períodos de entressafra e safra oscilam, respectivamente, entre 19,6 e 39,6 toneladas. Uma parte das bananas são vendidas em *in natura*, sendo comercializadas em Curitiba-PR e a outra parte transformada na UTPA-Batuva.

Unidade de Processamento de Produtos Agrícolas de Batuva. A UTPA-Batuva possui uma área total de 157,74 m² (Figura 1) e foi projetada seguindo as exigências da Vigilância Sanitária do Estado do Paraná.

As principais instalações da unidade, analisadas neste trabalho, são:

- sala de estufagem da banana (compartimento 2) - com 6m² de área e capacidade para maturação de 1.760kg de banana em três dias;
- secador de bananas (compartimento 4) - a sala do secador tem área de 14,21m². O secador (equipamento instalado) é uma adaptação do modelo tipo túnel e ocupa longitudinalmente a metade desta dependência, sendo o restante da área necessária para manobra de carrinhos (vagonetes). Sua capacidade projetada é de 2.160kg de banana para um tempo de secagem estimado em 48 horas, mais 24 horas de manutenção. O secador foi projetado pelos técnicos do Núcleo de Apoio à Agroindústria da Universidade Federal do Paraná (Naagri - UFPR).

- sala dos tachos (compartimento 6) - com 12,45m². Esta sala contém dois tachos de cobre sobre estrutura de alvenaria e sistema de pá mexedora movido a motor elétrico. Cada tacho possui uma capacidade de 120kg de polpa de banana, num período de cozimento variável entre 8 e 14 horas.

Figura 1. Croquis da Unidade de Transformação dos Produtos Agrícolas de Batuva

A Figura 2 apresenta um fluxograma demonstrativo dos processos existentes entre a produção e a venda da banana e seus derivados na UTPA Batuva.

Os dados de custo de produção, para obtenção da margem líquida com a venda dos produtos produzidos na UTPA-Batuva, foram retirados do relatório técnico de Maccari Jr. e Bittencourt (1998) denominado *Análise dos custos de produção dos processos de transformação da banana - Parte 2*. Neste relatório, a margem líquida por kg, obtida com a venda da banana *in natura*, bala e passa são de 0,041; 0,243 e 2,53 reais/kg, respectivamente, conforme pode ser visto na Tabela 1.

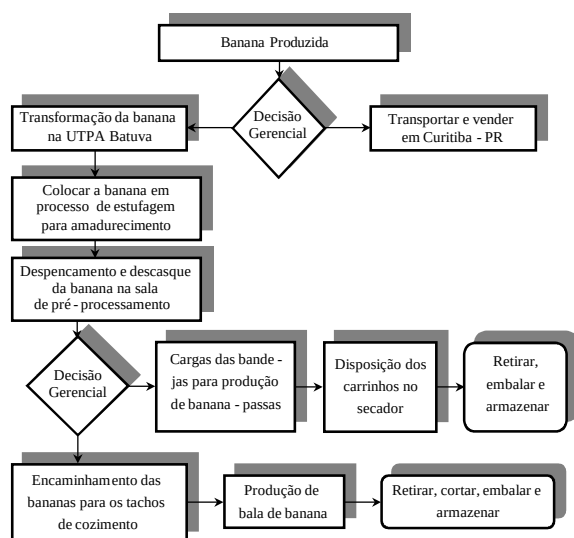


Figura 2. Fluxograma demonstrativo da produção e venda da banana e seus derivados na UTPA-Batúva

Tabela 1. Lucro obtido por kg de produto vendido na UTPA-Batúva

Produto	Preço venda (R\$/kg)	Custos (R\$/kg)	Lucro (R\$/kg)
Banana <i>in natura</i>	0,091	0,0501	0,0409
Bala de banana	2,000	1,7570	0,2430
Banana passa	3,500	0,9700	2,5300

Resumo dos custos de produção dos processos de transformação da banana obtido do relatório técnico de Maccari Jr. e Bittencourt (1998)

O custo com transporte da banana *in natura* de Batúva a Curitiba ficaram em média em 0,0137 reais/kg.

A estruturação do problema foi feita organizando os dados de aspectos técnicos para um período de seis dias trabalhados e um dia de folga. A análise feita desta forma simplifica bastante o problema, visto que a estufa opera em turnos de no mínimo três dias (72 horas) e evita que algum tipo de atividade tenha que ser feita no domingo, o que a religião e hábitos da maioria dos moradores da comunidade não permite.

A entrada dos dados nas inequações foi feita considerando a banana *in natura* para evitar possíveis confusões com as transformações e erros nos cálculos. A saída dos resultados para os produtos transformados é dada em kg de produto/semana (passa, bala) para que novamente não ocorra erros devido a transformações e confusões quanto à interpretação das unidades.

Variáveis do problema:

- X_1 - banana *in natura* vendida em Curitiba;
- X_2 - banana *in natura* transformada em passa;
- X_3 - banana *in natura* transformada em bala;
- X_4 - banana passa produzida; e
- X_5 - bala de banana produzida.

Função objetivo:

$$\text{Max. } L = \sum_{i=1}^6 P_i \cdot X_i$$

P_i = lucro obtido por kg de produto vendido na UTPA-Batúva;

X_i = quantidade do produto, em kg, que deve ser vendido *in natura* ou processado.

Sujeito às restrições:

- Quantidade de banana produzida na região:
Produção em kg de banana em 7 dias na safra: $X_1 + X_2 + X_3 \leq 9.240$
 $\text{RHS} = \frac{39.600 \text{ kg} \cdot 7 \text{ dias}}{30 \text{ dias}} = 9.240 \text{ kg de banana/semana}$
- Produção em kg de banana em 7 dias na entresafra: $X_1 + X_2 + X_3 \leq 4.620$
 $\text{RHS} = \frac{19.800 \text{ kg} \cdot 7 \text{ dias}}{30 \text{ dias}} = 4.620 \text{ kg de banana/semana}$
- Capacidade existente para realização da estufagem da banana em 6 dias: $X_2 + X_3 \leq 3520$
 $\text{RHS} = \frac{1.760 \text{ kg} \cdot 6 \text{ dias de trabalho}}{3 \text{ dias para a maturação}} = 3.520 \text{ kg/semana}$
- Capacidade mínima em kg de polpa de banana no tacho em um dia: $X_3 \geq 0$
- Capacidade máxima em kg de polpa de banana nos dois tachos em 6 dias: $X_3 \leq 1.440$
 $\text{RHS} = \frac{120 \text{ kg/tacho} \cdot 2 \text{ tachos} \cdot 6 \text{ dias}}{1 \text{ dia por receita}} = 1440 \text{ kg/semana}$
- Capacidade mínima em kg do secador em 6 dias: $X_2 \geq 0$
- Capacidade máxima em kg do secador em 6 dias: $X_2 \leq 4.320$
 $\text{RHS} = \frac{2.160 \text{ kg} \cdot 4 \text{ dias trabalho na semana}}{2 \text{ dias para secagem}} = 4320 \text{ kg/semana}$
- Capacidade de carga do caminhão em 6 dias: $X_2 \leq 39.600$
- Relação de aproveitamento da banana nas diversas transformações: $-1 \cdot X_2 + 1,5 \cdot X_3 \geq 0$

Esta restrição limita, devido à qualidade das bananas produzidas em Batúva, que de cada 100kg de banana *in natura* destinadas ao processamento, em média, 60kg podem ser transformados em passa.

- Conversão da Quantidade de banana *in natura* em banana passa: $5 \cdot X_4 - X_2 = 0$

Esta restrição dá a relação de rendimento na produção da banana passa, ou seja, cada kg de banana *in natura* transforma-se, em média, em 0,2kg de banana passa.

- Conversão da Quantidade de banana *in natura* em bala de banana: $5,226 \cdot X_5 - X_3 = 0$

Esta restrição dá a relação de rendimento na produção da bala de banana, ou seja, cada kg de banana *in natura* transforma-se, em média, em 0,1913kg de bala de banana.

- Condição de positividade: $X_1, X_2, X_3, X_4 \text{ e } X_5 \geq 0$

Uma vez estabelecida as variáveis, função objetivo e as restrições a que os processos da UTPA-Batuvá estavam sujeitos, passou-se então à execução do modelo com análise dos dados emitidos. O programa ORSYS, versão padrão e módulo LP, foi o software utilizado para executar o modelo de programação linear estruturado.

Resultados e discussão

O modelo poderia ter sido montado em função apenas das variáveis X_1, X_4 e X_5 . Isso não foi realizado para evitar a necessidade de ficar fazendo transformações (produto produzido em quantidade de banana *in natura* necessária ao processo) com os resultados de saída emitidos pelo ORSYS, para os diversos cenários realizados (Tabela 2).

Verifica-se que o modelo para os períodos de safra e entressafra é o mesmo, havendo alteração apenas no RHS da restrição que informa a quantidade de banana produzida (kg de banana em 7 dias) no local segundo o referido período.

Uma série de cenários visando ao aumento da capacidade produtiva da UTPA-Batuvá foram realizados a partir do modelo proposto, uma vez que existe esta intenção por parte dos produtores. Quanto ao mercado, a demanda pela bala e passa de banana na região é grande devido ao turismo e existe ainda a possibilidade de exportação destes produtos para alguns países europeus, visto que o emprego praticamente nulo de insumo na região faz com que a banana processada possa ser considerada como produto orgânico ou biológico.

A Tabela 2 foi montada a partir dos resultados emitidos pelo ORSYS nos relatórios primal, dual e de análise de sensibilidade.

Os dados da Tabela 2, permitem constatar que:

Considerando a capacidade atual de estufagem (3.520kg/semana) e dos tachos (1.440kg/semana), pode-se processar na UTPA-Batuvá 422,4kg de passa, 269,4kg de bala e vendidos 5.720kg de banana *in natura*, por semana. Nesta condição, o secador da UTPA ainda apresentaria uma folga de 2.205kg, enquanto que na estufa a folga seria zero e os tachos também estariam muito próximos de sua capacidade limite, tendo folga para apenas 167,7kg de banana *in natura*.

Fazendo-se a opção de aumentar a capacidade da estufa para 4.000kg/semana e de se montar mais um tacho de cozimento, observa-se que:

- o secador ainda apresentaria uma folga de 1.917kg e os tachos ficariam com uma folga de 560kg;
- a estufa ainda seria a restrição atuante do problema com folga zero, podendo ser aumentada até a capacidade de 5.400kg/semana que ainda permaneceria na base problema;
- com a ampliação da estufa e com a montagem de mais um tacho de cozimento, o lucro/semana da UTPA passaria então de R\$1.371,56, conforme a situação atual permite, para R\$1.507,05;
- a quantidade de produtos processados por semana seriam de 480kg de passa, 306,2kg de bala e restariam ainda 5.240kg de banana *in natura* para serem vendidas.

Ampliando apenas a estufa para uma capacidade de 5.400kg/semana, verifica-se que os tachos novamente passariam a ser a restrição atuante do problema. Haveria folga no secador e na estufa. O lucro alcançado na função objetivo com esta alteração do RHS da restrição estufa seria de R\$1.902,21.

Tabela 2. Quantidade de produtos processados e/ou vendidos *in natura* com o aumento da capacidade da estufa, tachos e secador

Capacidade		Banana <i>In natura</i>	Produtos processados		Variação do RHS Secador	Folga Secador	Variação do RHS Tachos	Folga dos Tachos	Variação do RHS Estufa	Folga da Estufa	Lucro
Estufa	Tachos		Passa	Bala							
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(R\$)
3.520	1.440	5.720	422,4	269,4	2.112 - ∞	2.205	1.408 - ∞	32,0	0 - 3.600	0,0	1.371,5
4.000	1.440	5.640	432,0	275,5	2.160 - ∞	2.157	0 - 1.600	0,0	3.600 - ∞	400	1.394,1
4.000	2.160	5.240	480,0	306,2	2.400 - ∞	1.917	1.600 - 0	560,0	0 - 5.400	0,0	1.507,0
5.400	2.160	3.840	648,0	413,3	3.240 - ∞	1.077	2.160 - ∞	0,0	0 - 5.400	0,0	1.902,2
6.000	2.880	3.240	720,0	459,2	3.600 - ∞	717	2.400 - ∞	480,0	0 - 7.195	0,0	2.071,5
7.195	2.880	2.045	863,4	550,7	4.317 - ∞	0,0	2.878 - ∞	2,0	0 - 7.195	0,0	2.408,8
9.240	3.600	1.323	863,4	688,8	0 - 5.400	0,0	2878 - 4923	0,0	7.917 - ∞	1.323	2.412,4
9.240*	3.600*	240	1.080,0	688,8	5.400 - ∞	144	0 - 3.696	0,0	9.000 - ∞	240	2.918,3

* Neste cenário, a capacidade do secador foi aumentada para 5.544kg de banana *in natura* por semana. Nos demais cenários contidos na tabela a capacidade do secador foi sempre de 4.317kg/semana.

A condição de ampliação da estufa e dos tachos só terminaria quando se chegasse a conter na UTPA uma estufa com capacidade para 7.195kg/semana e um conjunto de tachos com 2.880kg/semana. As quantidades de passa, bala transformadas e de banana *in natura* seriam de 863,4, 550,7 e 2.045kg, respectivamente. Nesta situação, o secador, estufa e tachos estariam praticamente sem folga e o aumento do lucro só seria possível com uma reforma e/ou otimização dos processos utilizados nestes três setores. O lucro alcançado para esta situação seria de R\$2.408,86.

É bom ressaltar que o secador da UTPA-Batuvá, foi projetado de forma a propiciar facilmente o aumento de sua capacidade produtiva. Se isto fosse feito, para se chegar ao lucro máximo da função objetivo do problema, seria necessário que o secador tivesse sua capacidade aumentada de 4.317kg para 5.544kg de banana *in natura* por semana, houvesse no mínimo duas estufas e/ou um sistema de maturação perfazendo uma capacidade total de 9.240kg/semana e um número de 5 tachos com capacidade de 720kg/semana cada um (total de 3.600kg/semana). Seriam produzidos 1.080kg/semana de passa, 688,8kg/semana de bala, e ainda restariam 240kg/semana de banana *in natura* para serem comercializados. O lucro máximo proporcionado nestas circunstâncias seria de R\$2.918,34.

A programação linear mostrou-se adequada ao desenvolvimento de um modelo que auxilie no gerenciamento das quantidades de banana que devem ser transformadas e/ou vendidas *in natura* para proporcionar a maximização do lucro da empresa e nas tomadas de decisões quanto ampliação e modificação das instalações da UTPA-Batuvá.

Com o aumento da capacidade de estufagem para 5.720kg/semana e a montagem de mais 3 tachos com

capacidade de 120kg de banana *in natura*, a UTPA-Batuvá poderá proporcionar um lucro de até R\$2.412,49 por semana. Este lucro é R\$1.040,93 maior que as condições atuais permitem.

A Unidade de Transformação de Produtos Agrícolas de Batuvá-PR mostra-se como uma alternativa viável à melhoria das condições financeiras dos agricultores. Para todas as análises e situações criadas foi sempre mais vantajoso transformar a maior quantidade possível de banana produzida no local do que vendê-la *in natura* em Curitiba-PR.

Referências bibliográficas

- Caixeta Filho, J.V. *Pesquisa operacional aplicada ao sistema agroindustrial*. Relatório Técnico de Projeto de Pesquisa apoiado pelo CNPq. 1997. 184p.
- Maccari Jr., A.; Bittencourt, J. Tecnologia de produção para banana-passa e bala de banana - Parte 1. *Relatório do Projeto de Desenvolvimento Sustentável em Guaraqueçaba*. Curitiba: UFPR/Proec-SCA/DETR. 1997. 11 p.
- Maccari Jr., A.; Bittencourt, J. Análise dos custos de produção dos processos de transformação da banana - Parte 2. *Relatório do Projeto de Desenvolvimento Sustentável em Guaraqueçaba*. Curitiba: UFPR/Proec-SCA/DETR. 1998. 5p.
- Porcheron, C. Criação de uma pequena unidade de transformação de produtos agrícolas em Batuvá: Apresentação do Estudo de Factibilidade. *Relatório do Projeto de Desenvolvimento Sustentável em Guaraqueçaba*. Curitiba: APB/UFPR/ Proec/ Holos. 1995. 10p.
- Walflor, M.F.M. Proposta de projeto de extensão: Desenvolvimento sustentável em Guaraqueçaba. *Relatório do Projeto de Desenvolvimento Sustentável em Guaraqueçaba*. Curitiba:UFPR/Proec/Holos. 1994. 10p.

Received on May 19, 1999.

Accepted on August 16, 1999.