

# **PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO NA CADEIA PRODUTIVA AGROINDUSTRIAL DO AÇAÍ**

**Marina Sanches Pagliarussi**

Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção  
Rodovia Washington Luís, km 235 - SP- 310 CEP 13565-905 São Carlos – SP, Brasil  
mari.paglia@gmail.com

**Maristela Oliveira dos Santos**

Universidade de São Paulo - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação  
Av. Trabalhador São-Carlense, 400, 13560-970, São Carlos - SP, Brasil  
[mari@icmc.usp.br](mailto:mari@icmc.usp.br)

**José Dalton Cruz Pessoa**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Rua XV de Novembro 1452, Centro 13560-970 - São Carlos, SP – Brasil  
dalton@cnpdia.embrapa.br

## **RESUMO**

O mercado do açaí está desde 1995 em rápido crescimento, o que tem aumentado a demanda, o preço dos frutos e também atraído novos investimentos, tais como a produção intensiva de frutos em terra firme, a implantação de manejo em áreas de várzea extrativistas, implantação de novas indústrias de beneficiamento, entre outros. Com o objetivo de auxiliar o planejamento da produção de polpa de açaí, é proposto um modelo de programação inteira mista que tem como finalidade minimizar os custos de implantação de novas áreas de cultivo de fruto de açaí e os custos de transporte de tais frutos ao beneficiador, de forma a atender à demanda de polpa. Foram realizados testes computacionais com instâncias geradas a partir de dados reais e os resultados indicam que os sítios produtivos considerados não conseguem acompanhar o aumento da demanda. Os testes realizados para avaliar a capacidade de beneficiamento perante ao aumento demanda indicam que o gargalo, nas situações testes, era a produção dos frutos. Em suma, o modelo proposto mostrou-se uma ferramenta importante para obter informações sobre a cadeia do açaí.

**PALAVRAS CHAVE.** Cadeia Produtiva de Açaí, Programação Inteira, Planejamento Estratégico.

## 1. Introdução

O açazeiro é uma espécie nativa da Amazônia, encontrada principalmente em terrenos de várzea no estuário dos rios Tocantins, Pará e Amazonas. O açai, até o final do século XX, era considerado um produto da alimentação básica das populações ribeirinhas e das camadas de baixa renda. A produção do açai era até então predominantemente extrativista e destinada ao consumo local. O estado do Pará é responsável por 95% da produção do fruto (SANTANA et al. 2006).

A partir de meados da década de 90, o suco de açai foi gradativamente conquistando novas fronteiras de mercado, atendendo não apenas o mercado local, mas também as outras regiões do país e, ainda, o mercado internacional, principalmente os Estados Unidos, países da União Européia, Japão e Cone Sul (SANTANA et al. 2006; GOMES apud SILVA et al. 2006). No Brasil, a demanda de açai vem crescendo entre os consumidores de maior renda. A motivação do consumo se dá por razões que vão além da necessidade alimentar, envolvendo questões culturais e principalmente por estética e saúde (SILVA apud SILVA et al. 2006). A Tabela 1 mostra o aumento da demanda pela polpa e vinho de açai.

Ano	Oferta de fruto de açai (t)	Oferta de polpa aproximada	Demanda de polpa e vinho de açai			
			Mercado do Pará (t)	Mercado nacional (t)	Mercado Internacional (t)	Demanda Total(t)
2001	118.302	53.050	117.843	8.527	395	126.765
2002	364.879	163.623	130.559	11.231	1.060	142.850
2003	392.130	175.843	163.615	22.597	2.119	188.331
2004	454.071	203.619	177.102	29.636	3.622	210.360
2005	505.094	226.500	204.730	47.098	5.138	256.966

Tabela 1: Balanço entre oferta de frutos e demanda de polpa de no período de 2001 a 2005. Baseado em Santana et al. 2006.

A produção extrativista, entretanto, não conseguiu seguir o aumento da demanda, de forma que o crescimento do mercado de polpa do fruto de açai tem induzido o plantio em terra firme (HOMMA et al. 2006) e a implantação de plantas industriais para realizar o processamento. Devido ao rápido crescimento do mercado, houve também aumento da demanda, do preço dos frutos e de novos investimentos na produção intensiva de frutos em terra firme, cuja viabilidade depende também dos custos da logística de entrega da matéria prima nas indústrias de processamento, além da possibilidade de manejar as áreas extrativistas com o objetivo do aumento de produtividade.

Neste contexto, o presente artigo considera a cadeia produtiva agroindustrial do açai no Pará com enfoque nos processadores e produtores do fruto e tendo como objetivo auxiliar

no planejamento estratégico da cadeia produtiva e avaliando a capacidade de produção de frutos e processamento de polpas, de maneira a atender toda a demanda projetada. Para isso, propõe-se um modelo de programação linear inteira mista que represente a cadeia produtiva agroindustrial do açaí no Pará, com cultivos em área de várzea, em terra firme e os beneficiadores.

Na Seção 2, apresenta-se uma breve descrição da cadeia produtiva agroindustrial do açaí no Pará. Na Seção 3, introduz-se o modelo matemático proposto. Os resultados computacionais são indicados na Seção 4, seguido das conclusões e perspectivas na Seção 5.

## **2. A cadeia de produção agroindustrial do açaí no Pará**

### **2.1. Produtores**

A produção de frutos é basicamente extrativista. O percurso do açaí da propriedade até a pedra do município é feita de barco e é de responsabilidade dos produtores ou da cooperativa, cujo custo é incluído no preço do fruto. Os gastos com transporte da pedra do município até a empresa processadora são assumidos pela empresa processadora (SOARES e COSTA 2005). O crescimento do mercado de polpa do fruto de açaí motivou o cultivo em terra firme (HOMMA et al. 2006), a inclusão do açaí na linha de produtos de agroindústrias existentes, e a instalação de novas plantas de beneficiamento (SANTANA et al. 2006). Outra possibilidade para aumentar a produção é o manejo. O objetivo do manejo é aumentar a produtividade (a eliminação de algumas plantas reduz a competição por nutrientes, luz e água) e facilitar o transporte do fruto através da mata. Apesar de dobrar a produtividade, o manejo dos açazais nativos promovem a derrubada verde, sem queima, para construção de canais para facilitar a drenagem da água inundada, com grande movimentação de canoas e barcos para o transporte de frutos, com sérias conseqüências para flora e fauna (HOMMA et al. 2006).

A produção anual do fruto é distribuída em duas fases, a entressafra, predominante no primeiro semestre com produção de apenas 20% do total e, nos meses finais do ano, quando são colhidos 80% de todo o volume produzido. Durante a entressafra do nordeste paraense, os processadores paraenses, principalmente de Belém, são supridos pelos frutos produzidos nos Estados do Maranhão e Amapá. A produção Maranhense é transportada de caminhão e a do Amapá no porão de barcos resfriados com gelo. Por esse motivo, considera-se no estudo da cadeia a possibilidade de aquisição de açaí de fora da cadeia, na literatura, esta política é chamada de *outsourcing* ou de terceirização.

Neste trabalho, consideram-se como produtores os municípios por dois motivos: i) os produtores de açaí são muito pequenos não causando, individualmente, impacto significativo na oferta de frutos; ii) é sabido que o açaí fica nos portos dos ribeirinhos, por vezes localizados a 200m um do outro, nos rios e há um intermediário que passa recolhendo as latas e as leva para as cidades. Ainda, consideram-se três tipos de produção de açaí, o extrativista, o manejado (área extrativista com a implantação do manejo) e abertura de novas áreas em terra firme, cuja produção ocorre apenas, em média, quatro anos após a implantação.

## **2.2. Indústrias de processamento e transformação**

As empresas beneficiadoras trabalham com capacidade instalada maior do que a demanda para fazer frente aos “surtos” de frutos de chegam em determinadas épocas e que necessitam ser processados no mesmo dia, sob pena de perda dos frutos devido a perecibilidade do produto.

A polpa de açaí é classificada de acordo com a Resolução Normativa Nº01 de 07 de janeiro de 2000, DOU-10/01/2000, do Ministério da Agricultura, em açaí grosso, médio e fino conforme o teor de matéria seca: a partir de 14%, entre 11% e 14%, entre 8% e 11%, respectivamente.

Há ainda indústrias de alimento, bebidas e complementos alimentares que utilizam o açaí como matéria prima. No mercado externo há empresas de bebidas e sorvetes, bebidas à base de açaí. No mercado de nutracêuticos, que são complementos alimentares com qualidades funcionais, podem-se citar empresas que comercializam capsulas de açaí no Japão, além de várias empresas que vendem barras de cereal e biscoitos.

## **2.3. Consumidor final**

O açaí beneficiado tem boas possibilidades de mercado, principalmente no Rio de Janeiro, São Paulo, Brasília, Goiás e na Região Nordeste. No Rio de Janeiro, o açaí é oferecido nas praias e se tornou muito popular entre os adeptos da "cultura da saúde" e entre os freqüentadores de academias. É estimado que no Rio de Janeiro sejam consumidas 500 toneladas/mês, em São Paulo 150 toneladas/mês e outros Estados somam 200 toneladas/mês. Nesses locais, em alguns pontos de venda, o que se consome é o açaí fino que, misturado com outros produtos, perde o gosto, o odor e até o valor calórico da fruta (HOMMA et al. 2006). Em 2000, iniciou-se a exportação de polpa congelada de açaí para os Estados Unidos e para a Itália. Esse mercado externo cresceu 20% ao ano de 2003 a 2006, com a comercialização do açaí concentrado em latas e com a popularização da mistura com diversas outras frutas

(HOMMA et al. 2006).

### 3. O modelo matemático

O modelo matemático considera produtores em áreas de várzea, em terra firme e beneficiadores. No modelo, permite-se a implantação de manejo e novos sítios de cultivo de açaí em terra firme. Não considera a possibilidade de abertura de novas empresas beneficiadoras nem de fechamento das já existentes, uma vez que se objetiva analisar se a capacidade considerada instalada atualmente é suficiente para beneficiar toda a demanda estimada.

O modelo foi baseado em Hinojosa et al. (2008), que é um modelo de localização de facilidades, aplicado à gestão da cadeia de suprimentos que permite: a abertura de sítios de produção e armazenagem não existentes no início do horizonte de planejamento e o fechamento das instalações em funcionamento no início da simulação. Porém, o fechamento das instalações não é considerado no modelo proposto para a cadeia produtiva do açaí.

Os parâmetros abaixo estão na formulação matemática da cadeia produtiva do açaí no Pará:

$LB$  : conjunto de localizações de beneficiadores, indexados por  $j \in LB$  ;

$LP$  : conjunto de localizações de cultivos extrativistas em área de várzea, indexados por  $k \in LP$  ;

$LPc$  : subconjunto de  $LP$  em que existem cultivos com manejo já implantados;

$LPo$  : subconjunto de  $LP$  em que o cultivo é puramente extrativista;

$LT$  : conjunto de localizações potenciais para implantação de cultivo em terra firme, indexados por  $l \in LT$  ;

$LTc$  : subconjunto de  $LT$  em que existem cultivos em terra firme já produzindo;

$LTo$  : subconjunto de  $LT$  dos locais potenciais para produção em terra firme;

$P$  : conjunto de produtos diferenciados pelo teor de sólidos, indexados por  $p \in P$  .

#### Parâmetros referentes ao Produtor em várzea (extrativista e manejado)

$PC_{kt}$  : capacidade de produção de frutos em várzea do sítio  $k \in LP$  no período  $t$ , dado em quilogramas de fruto por hectare;

$pe_k$  : área total, em hectares, de cada sítio  $k \in LP$  ;

Para  $k \in LPo$  (áreas puramente extrativistas)

$TCP_{kt}$  : custo da implantação do manejo no sítio  $k \in LPo$ , no início no período  $t$ , incluindo custos de manutenção do período  $t$  até  $T$ , por hectare;

Para  $k \in LPc$  (áreas com manejo)

$TCP_{kt}$  custo de manutenção do sítio  $k \in LPc$ , manejado durante todo o horizonte de planejamento, por hectare;

$CR_{kt}$  : custo de produção de açai em área de várzea, no sítio  $k \in LP$  no período  $t$ , em kg.

$m$ : fator de aumento da produtividade quando implantado o manejo;

O custo total de manutenção dos sítios puramente extrativistas não é citado porque consideramos que o único custo que os produtores têm é o de colheita.

### Parâmetros referentes aos cultivos em terra firme

$TC_{lt}$  : capacidade de produção de frutos em terra firme do sítio  $l \in LT$  no período  $t$ , dado em quilogramas de fruto por hectare;

$CTF_{lt}$  custo de produção de um kg de açai em área de terra firme, no  $l \in LT$  no período  $t$ ;

$NHT_l$ : área total, em hectares, do sítio  $l \in LT$  já produzindo no início do horizonte de planejamento;

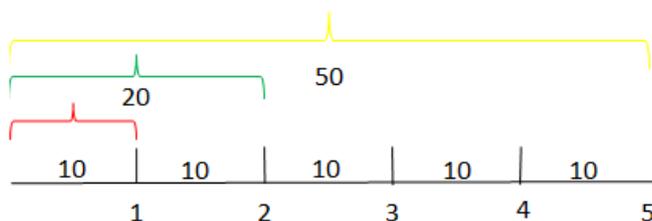
Para  $l \in LTc$  (áreas com cultivo em terra firme)

$TCT_{lt}$  : custo do sítio  $l \in LTc$  produzindo durante todo o horizonte de planejamento, por hectare;

Para  $l \in LTo$

$TCT_{lt}$  : custo do sítio  $l \in LTo$  se estabelecendo no início no período  $t$ , incluindo custos de manutenção do período  $t$  até  $T$ , por hectare;

$qe$ : número de partições de  $NHT_l$ ,  $qe = 1, 2, \dots, N$ . Por exemplo, se  $NHT_l = 50$  hectares e  $qe = 5$ . Tem-se que:



Se  $qe=1$ , serão implantados 10 hectares de cultivo em terra firme; se  $qe=2$ , 20 hectares e assim sucessivamente, até o número máximo de partições. Isso foi feito para evitar que o modelo se tornasse não-linear. Desta forma, necessita-se considerar um vetor  $Tq[qe]$ , com  $N$  posições para indicar, a quantidade de hectares implantada conforme cada partição.

$a1$  : custo de transporte de 1kg de fruto de açai por km, em área de várzea;

$a2$  : custo de transporte de 1kg de fruto de açai por km, em terra firme.

### Parâmetros referentes aos beneficiadores

$BPC_{jt}$ : capacidade de processamento do beneficiador  $j \in LB$  no período  $t$ , dado em quilogramas de fruto;

$R_p$ : rendimento do processamento para produto  $p$ , em porcentagem;

$PB_{jk}$ : distância entre o sítio  $k \in LP$  e o beneficiador  $j \in LB$  em km;

$TB_{jl}$ : distância entre o cultivo em terra firme  $l \in LT$  e o beneficiador  $j \in LB$  em km.

### Parâmetros referentes à demanda

$D_{pt}$ : demanda de produto  $p$  no período  $t$ .

### Produtos vindos de fora da cadeia (provenientes do Maranhão e do Amapá)

$OSC_{jt}$ : custo de aquisição e de transporte do fruto açai terceirizado para o beneficiador  $j$ .

### Variáveis de decisão táticas

$rasa_{kt}$ : açai colhido na várzea no sítio  $k$  no período  $t$  (kg);

$tfirm_{lt}$ : açai colhido em terra firme no sítio  $l$  no período  $t$  (kg);

$x_{jkt}$ : quantidade de açai enviada para o beneficiador  $j$  proveniente da plantação  $k$  (extrativista ou manejada) no período  $t$  em kg;

$f_{jlt}$  quantidade de açai enviada para o beneficiador  $j$  proveniente da plantação  $l$  (terra firme) no período  $t$  em kg;

$O_{jt}$  açai vindo de fora da cadeia entregue para o beneficiador  $j$  período  $t$ , em kg;

$Pr od_{pjt}$ : produção do produto  $p$  no beneficiador  $j$  no período  $t$ , em kg.

### Variáveis de decisão estratégicas

Para  $k \in LPO$

$$z_{kt} = \begin{cases} 1 & \text{se o cultivo manejado for implantado no sítio } k \text{ no início do período } t \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Para  $l \in LTO$

$$\varepsilon_{lt} = \begin{cases} 1 & \text{se houver implantação de cultivo em terra firme no sítio } l \text{ no início do período } t \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$\omega_{l,qt} = \begin{cases} 1 & \text{se houver plantio em terra firme em } qe \text{ hectares no sítio } l \text{ no período } t \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$NH_{lt}$ : número de hectares em que será implantado o cultivo de terra firme no sítio  $l$  no período  $t$ .

A função objetivo (1) consiste na minimização do custo total composto pela soma

dos custos de obtenção do fruto em suas diferentes fontes: em área de várzea, em cultivos de terra firme e de fora da cadeia; dos custos de transporte até o beneficiador; do custo de manejar os cultivos em áreas de várzea e do custo de implementação e manutenção do cultivo em terra firme.

$$\begin{aligned}
Min \quad & \sum_{t=1}^T \sum_{k \in LP} CR_{kt} \text{rasa}_{kt} + \sum_{t=1}^T \sum_{l \in LT} CTF_{lt} \text{tfirm}_{lt} + \sum_{t=1}^T \sum_{j \in LB} OSC_{jt} O_{jt} + \sum_{t=1}^T \sum_{k \in LP} TCP_{kt} pe_k z_{kt} + \\
& + \sum_{t=1}^T \sum_{l \in LT} TCT_{lt} NH_{lt} + \sum_{t=1}^T \sum_{j \in LB} \sum_{k \in LP} a1 PB_{jk} x_{jkt} + \sum_{t=1}^T \sum_{j \in LB} \sum_{l \in LT} \sum_{p \in P} a2.TB_{lj} f_{jlt}
\end{aligned} \tag{1}$$

As restrições (2) garantem que não haverá colheita maior do que a capacidade produtiva do sítio  $k$ , produção extrativista, no período  $t$ . A capacidade produtiva é dada pela soma da capacidade atual, no caso puramente extrativista, o primeiro fator ( $PC_{kt} pe_k$ ), e de um fator de aumento de produção, caso o manejo seja implantado nos períodos anteriores ao período  $t$ , assim, o aumento da capacidade produtiva pode ser contabilizado no período  $t$ , ou seja, o aumento de produtividade acontece no ano seguinte ao manejo. Na restrição considerada,  $m$  representa o fator de aumento.

$$\text{rasa}_{kt} \leq PC_{kt} pe_k + m.PC_{kt} pe_k \sum_{r=1}^{t-1} z_{kr}, \quad \forall k \in LP, \forall t \tag{2}$$

As restrições (3) e (4) são relativas à implantação de manejo. As restrições (3) garantem que não haverá implantação do manejo onde o cultivo já é manejado e (4) garantem que só haverá implantação de manejo uma vez durante o horizonte de planejamento.

$$\sum_{t=1}^T z_{kt} = 0, \quad \forall k \in LPc \tag{3}$$

$$\sum_{t=1}^T z_{kt} \leq 1, \quad \forall k \in LPo \tag{4}$$

As restrições (5) e (6) são restrições relativas a produção em terra firme e garantem que a produção de frutos não ultrapassará a capacidade produtiva do sítio  $l$  no período  $t$ . (5) se refere aos sítios  $l$  onde já existe o cultivo em terra firme e (6) aos sítios  $l$  que representam localizações potenciais para implantação. A colheita só pode ser realizada no quarto ano de implantação, daí o índice  $t-4$ .

$$\text{tfirm}_{lt} \leq TC_{lt} NHT_l, \quad \forall l \in LTC, \forall t \tag{5}$$

$$\text{tfirm}_{lt} \leq TC_{lt} \sum_{r=1}^{t-4} NH_{lr}, \quad \forall l \in LTo, \forall t \tag{6}$$

As restrições seguintes são relativas à abertura em terra firme. As restrições (7)

garantem que não haverá implantação de cultivos em *sítios* onde o cultivo já existe, ou seja, já foram implantados cultivos em terra firme em toda a área disponível.

As restrições (8) estabelecem a relação entre a variável estratégica  $\varepsilon_l^t$  e a variável auxiliar  $\omega_{l,qe,t}$ , ou seja, verifica se no período  $t$  houve a implantação da cultura em alguma partição da área possível de implantação. Caso ocorra implantação, as restrições (9) relacionam a partição  $qe$  (e tamanho da partição) e a variável auxiliar, para obtenção do número total de hectares implantados. As restrições (10) garantem que o número de hectares em que o cultivo em terra firme será implementado não ultrapassará a área total do sítio  $l$ .

$$\sum_{t=1}^T \varepsilon_{lt} = 0, \quad \forall l \in LTc \quad (7)$$

$$\varepsilon_{lt} = \sum_{qe=1}^N \omega_{l,qe,t}, \quad \forall l \in LTo, \forall t \quad (8)$$

$$NH_{lt} = \sum_{qe=1}^N Tq[qe] \cdot \omega_{l,qe,t}, \quad \forall l \in LTo, \forall t, \quad (9)$$

$$\sum_{t=1}^T NH_{lt} \leq NHT_l, \quad \forall l \in LTo, \quad (10)$$

As restrições (11) garantem o atendimento da demanda do beneficiador  $j$ , pela soma da produção em área de várzea  $k$ , da produção em terra firme  $l$ , e dos frutos de açaí vindos de fora da cadeia para o beneficiador  $j$  não deve exceder sua capacidade de processamento.

$$\sum_{k \in LP} x_{jkt} + \sum_{k \in LT} f_{jlt} + o_{jt} \leq BPC_{jt}, \quad \forall j \in LB, \forall t, \quad (11)$$

As restrições (12) garantem que a colheita total no sítio  $k$  (manejadas e extrativistas) no período  $t$  seja igual à soma de todos os frutos enviados do sítio  $k$  para os beneficiadores  $j$ . Analogamente, as restrições (13) garantem que a colheita total no sítio  $l$  (terra firme) seja igual à soma de todos os frutos enviados do sítio  $l$  para os beneficiadores  $j$ .

$$rasa_{kt} \geq \sum_{j \in LB} x_{jkt} \quad \forall k \in LP, \quad \forall t \quad (12)$$

$$tfirm_{lt} \geq \sum_{j \in LB} f_{jlt} \quad \forall l \in LT, \quad \forall t \quad (13)$$

As restrições (14) relacionam a quantidade recebida de frutos de açaí com a quantidade produzida de polpa  $p$ .

$$\left( \sum_{k \in LP} x_{jkt} + \sum_{l \in LT} f_{jlt} + o_{jt} \right) R_p = Prod_{pjt}, \quad \forall j \in LB, \forall t \quad (14)$$

As restrições (15) garantem o atendimento da demanda no período  $t$ .

$$\sum_{j \in LB} \sum_{p \in P} Prod_{pjt} \geq \sum_{p \in P} D_{pt}, \forall t, \quad (15)$$

As seguintes restrições são restrições de domínio.

$$z_{kt}, \varepsilon_{lt}, w_{l,qt} \in \{0,1\}, l \in LT, k \in LP, \forall t, \forall qe \quad (16)$$

$$x_{jkt}, f_{jlt}, rasa_{kt}, tfirm_{lt}, Prod_{pjt} \geq 0, l \in LT, k \in LP, j \in LB, i \in LC, \forall t \quad (17)$$

#### 4. Estudo Computacional

Os testes computacionais foram executados usando um processador Intel Core 2 Duo 2.00 GHz, 3.00Gb RAM e o solver IBM ILOG CPLEX 12.2. A configuração padrão do solver foi utilizada e o tempo de resolução limitado em 7200 segundos. Os dados utilizados para criação dos exemplos foram retirados da página da *web* da Embrapa Amazônia Oriental (EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 2005) e de pesquisas de campo.

##### 4.1. Exemplos de aplicação do modelo

As situações exemplos foram divididas em duas categorias, de acordo os locais para cultivo. Todas as configurações são fictícias. Os exemplos trazem áreas de cultivo em várzea já manejados (LPc), áreas puramente extrativistas (LPo), sítios de cultivo em terra firme já em funcionamento (LTc) e que podem ser implementados (LTo). Na situação exemplo 1 considera que tem a possibilidade de implantação do manejo em três áreas extrativistas, já na situação exemplo 2 é considerado que todos os dez cultivos em várzea já estão com manejo. As situações consideradas estão relacionadas na Tabela 2.

	Cultivos em várzea		Cultivos em terra firme	
	LPo	LPc	Lto	LTc
Situação exemplo 1	5	5	3	3
Situação exemplo 2	0	10	3	3

Tabela 2: Categorias de situações exemplos

Para cada uma das situações apresentadas na Tabela 2, foram gerados exemplares, variando parâmetros como o rendimento do processo de beneficiamento e a área disponível para cultivo em terra firme. No total foram gerados 8 exemplares, sendo quatro para a situação exemplo 1 e quatro para situação 2. O horizonte de planejamento (T) foi de 20 períodos (anos) para todas as categorias, dessa forma, é possível simular o planejamento de longo prazo.

A localização dos cultivos extrativistas foi obtida selecionando-se dez das cidades com

maior produção de açaí no Estado do Pará, de acordo com o IBGE (Abaetetuba, Barcarena, Bujaru, Cametá, Concórdia do Pará, Igarapé-Miri, Limoeiro do Ajuru, Moju, Tomé-açu e Tucuruí). Nas áreas extrativistas considerou que a área disponível para colheita varia de 1000 a 12000 ha, conforme a cidade considerada, com taxa de produção aproximadamente 8.5 ton/ha para o manejo e 4.3 ton/ha para as áreas extrativistas.

A localização dos cultivos em terra firme e sua área cultivada, por sua vez, foram estimadas por meio de pesquisas de campo. Tais locais foram Igarapé-Miri, Tomé Açu, Santa Isabel, Bujaru, São Domingos do Capim e Nhangapi. Para cada local, considera-se uma área disponível para plantação de 20605 ha, com taxa de produção aproximadamente 8.5 ton/ha.

Os dados de custo de manejo e de implantação de novos cultivos de terra firme foram retirados diretamente da publicação Sistemas de Produção – Açaí de Embrapa Amazônia Oriental (2005). Os custos de manejo e de implantação, para todos as áreas, ao longo do horizonte de planejamento são: 6784.5, 6282, 5767.5, 5253, 4944, 4635, 4326, 4017, 3708, 3399, 3090, 2781, 2472, 2163, 1854, 1545, 1236, 927, 618, 309. Esse custo foi aumentado, em 10 vezes, nos exemplares 1 –D e 2-D, para levar em consideração os impactos ambientais relacionados, já descritos na seção 2.1. O custo de manutenção da área manejada foi considerado de 6180.

A capacidade instalada dos beneficiadores foi mantida constante durante todo o horizonte de planejamento e foi calculada de acordo com dados obtidos em pesquisa de campo, bem como sua localização. Tais locais e suas respectivas capacidades de processamento, em toneladas de fruto por ano, são: Abaetetuba (3780t) Belém, (39928t) Castanhal (43400t), Igarapé-Miri (5040t), Santa Bárbara (9324t) e Tomé-Açu (5544t).

O rendimento do processamento de açaí varia de acordo com a procedência, o intervalo de tempo entre a colheita e o tipo de processamento dos frutos. Porém, nos testes utilizados nesse artigo consideramos apenas um tipo de polpa e o rendimento médio de vários beneficiadores.

O custo de transporte é considerado unitário em todos os casos, por falta de informações sobre este dado. Os frutos de fora da cadeia são considerados provenientes da região oeste do estado do Maranhão. A demanda de polpa de açaí dos primeiros oito períodos são dados históricos dos anos de 2001 a 2007, de acordo com Santana et al. (2006) (ver Tabela 1) e pesquisa de campo. Os anos posteriores são estimativas a partir da taxa de crescimento da demanda observada nesses períodos, que foi de 9,8% ao ano. A seguir, são apresentados as características dos exemplares e os respectivos resultados obtidos pela resolução do modelo matemático.

## 4.2. Testes e discussões

Os exemplares gerados a partir da situação exemplo 1 consideram cinco áreas de cultivo em várzea já manejadas, cinco áreas puramente extrativistas, três sítios de cultivo em terra firme já em funcionamento e três que podem ser implementados. O parâmetro rendimento variou de acordo com a Tabela 3. Nestes cenários consideramos que somente 15% da demanda anual possa ser atendida por produtos fora da cadeia, isto é, a demanda ao longo dos anos deve ser atendida, quase em sua totalidade, pela produção no estado. Além disso, no modelo matemático, foi considerado uma variável artificial representando a quantidade total de frutos necessários a cada ano para atender a demanda. Esta variável foi considerada para possibilitar a análise da necessidade de maior investimento em plantação em terra firme.

Para todos os exemplares, neste cenário de 15% de terceirização, não foi suficiente para atender a demanda, ou seja, todos os exemplares são infactíveis. Para a situação exemplo 1-A serão necessários, no máximo, plantar mais 4 áreas das disponíveis para implantação de terra firme (20605ha), como pode ser visto na Tabela 4 (79000ha), necessidade a partir do ano 16. Quando o rendimento é muito baixo, como no caso 1-D, há necessidade de uma área adicional mínima de 3280ha já a partir do primeiro ano, conseqüentemente, foi necessária a obtenção de frutos de fora da cadeia a partir do primeiro ano. Em todos os exemplares, a necessidade de obtenção de frutos fora da cadeia ocorreu no mesmo ano da necessidade dos frutos adicionais.

Exemplares	Rendimento do processo de beneficiamento
A	40,00%
B	30,00%
C	25,00%
D*	15,00%

Tabela 3: Características dos exemplares da situação exemplo 1.

	Tempo(s) (GAP)	Implantação Manejo	Novos cultivos terra firme	Frutos de fora da cadeia	Áreas adicionais de terra firme (ha)
A	0,13 (0,0%)	5	3	sim	79000 (16)
B	0,19(0,0%)	5	3	sim	162000 (13)
C	0,14(0,0%)	5	3	sim	228530(11)
D*	0,05 (0,0%)	5	3	sim	495100(1)

Tabela 4: Resultados dos testes com os exemplares da situação exemplo 1.

Deste modo, os resultados dos testes realizados com exemplares da situação

exemplo 1 indicam que somente a implantação de manejo nos cultivos não é suficiente para atender a demanda, já que nos exemplares 1-A, 1-B e 1-C, as soluções esgotaram todas as alternativas para aumentar as fontes de produção de frutos. No exemplar 1-D os custos do manejo foram aumentados em 10 vezes, porém, a solução não foi sensível a esta perturbação pois há a necessidade de frutos, conforme os resultados observados na Tabela 4. Todas as soluções são ótimas (Gap menor que 0,01%). O Gap é definido por:  $Gap = 100\% * (\text{limitante superior} - \text{limitante inferior}) / (\text{limitante inferior})$ , onde o limitante superior é a melhor solução factível obtida pelo CPLEX e o limitante inferior é obtido por meio de uma relaxação linear do problema inteiro.

A situação exemplo 2 considera que todos os cultivos existentes em área de várzea já são manejados, ou seja, sua produtividade é maior quando comparada aos cultivos puramente extrativistas. Para a categoria 2, foram gerados 4 exemplares considerando apenas variações no rendimento do processo de beneficiamento.

Exemplares	Rendimento do processo de beneficiamento
A	40,00%
B	30,00%
C	25,00%
D	15,00%

Tabela 5: Características dos exemplares da situação exemplo 2.

	Tempo(s) (GAP)	Novos cultivos terra firme	Frutos de fora da cadeia	Áreas adicionais de terra firme (ha)
A	0,13 (0,0%)	3	sim	79000 (16)
B	0,13 (0,0%)	3	sim	162000 (13)
C	0,17 (0,0%)	3	sim	228530(11)
D*	0,05 (0,0%)	3	sim	495100(2)

Tabela 6: Resultados dos testes com exemplares da situação 2

Dessa forma, todo o espaço disponível para os cultivos em terra firme não é suficiente para atender o crescimento da demanda em nenhuma das instâncias, mesmo quando o rendimento é de 40%. Apesar desse teste considerar todos os açazeiros em área de várzea como cultivos manejados, sabe-se que essa não é a realidade da cadeia produtiva e que o manejo nas áreas de várzea esconde riscos ambientais que podem ganhar magnitude e que

precisam ser considerados. Os resultados apresentados na Tabela 6 refletem os resultados apresentados na Tabela 4, ou seja, caso a realidade para os próximos anos seja a apresentada nestas situações, haverá a necessidade de investimento maior em plantação em terra firme, mesmo que implante manejo em todas as áreas extrativistas consideradas. Nos exemplares da situação 2, a necessidade de obtenção de frutos fora da cadeia ocorreu em períodos anteriores aos períodos da necessidade de investimento nos cultivos existentes no estado do Pará. Este fato ocorreu devido à taxa de produção dos frutos nas áreas manejadas, uma vez que ao se implantar o manejo, o aumento do rendimento da produção do sítio ocorre apenas no ano seguinte da sua implantação.

Em todas as situações analisadas acima, os beneficiadores apresentam capacidade de beneficiamento do fruto recebido.

### **4.3. Considerações Finais**

Todos os testes realizados foram resolvidos com facilidade pelo *solver*, com obtenção de solução ótima e tempo de resolução mínimo. Todas as soluções obtidas pelos testes computacionais apresentaram a necessidade de obtenção de frutos de fora da cadeia à medida que a demanda cresce, bem como a indicação visível da necessidade de mais investimentos na produção de frutos.

Visto que os testes não apresentam infactibilidade, a capacidade dos beneficiadores é mantida constante, o rendimento foi considerado mínimo para todos os beneficiadores, adotando-se apenas um produto e tomando-se demanda crescente, é possível afirmar que há muito mais capacidade instalada do que oferta de frutos e que esta é suficiente para atender a demanda considerada nesses testes, com crescimento de 9.8% ao ano. Ou seja, o gargalo neste caso é a produção de frutos de açaí.

Entretanto, ao agregar as capacidades dos beneficiadores e dos produtores e a demanda, existe a possibilidade de alguns detalhes do planejamento da cadeia serem omitidos, como por exemplo: caráter sazonal da produção de fruto de açaí, concentrada nos meses finais do ano, o que pode forçar a obtenção do fruto de fora da cadeia em determinados meses; possível caráter sazonal da demanda de polpa de açaí, característica não investigada nesse trabalho e o fato de alguns beneficiadores não funcionarem durante todos os meses do ano.

## **5. Conclusões e Perspectivas**

Neste artigo foi proposto um modelo de programação linear inteira mista que incorpora decisões de localização de facilidades para auxiliar no planejamento estrutural da

cadeia produtiva agroindustrial do Açaí no Pará. O objetivo do modelo matemático é de minimização dos custos envolvidos na cadeia produtiva, tais como: custos de implantação de novos *sítios* de produção, de transporte de produtos, entre outros. As decisões consideradas são relacionadas à produção de frutos nas áreas que já estão produzindo e em áreas potenciais para implantação de novos cultivos, ou à obtenção de frutos de outro estado. Os testes computacionais relatados neste artigo considerando dados obtidos por meio de pesquisa bibliográfica e de campo mostraram a potencialidade de utilização do modelo matemático como uma ferramenta de apoio à tomada de decisões. Os passos futuros consistem em realizar testes considerando mais de um produto e gerando o rendimento do processo de beneficiamento de maneira aleatória e investigar a capacidade ociosa dos beneficiadores.

## 6. Referências Bibliográficas

ANDRIGUETTO, J.R.; NASSER, L.C.B.; TEIXEIRA, J.M.A.; SIMON, G.; VERAS, M.C.V.; MEDEIROS, S.A.F.; SOUTO, R.F. MARTINS, M.V. de M.; KOSOSKI, A. R. **Produção Integrada de Frutas e Sistema Agropecuário de Produção Integrada no Brasil**. Disponível em <<http://www22.sede.embrapa.br/snt/piue/Produ%E7%E3o%20Integrada%20na%20Uni%E3o%20Europ%E9ia/S%29%20Produ%E7%E3o%20Integrada%20na%20America%20Latina/S4%29%20Brasil/LIVRO%20PIF-SAPI%2017%20jun%2008%20-%20Revisado.pdf>>. Acesso em junho de 2010.

ALEXANDRE, D.; CUNHA, R. L.; HUBINGER, M. D. Conservação do açaí pela tecnologia de obstáculos. **Revista Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.1, p.114-119, 2004.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL 2005. **Sistemas de Produção 04, versão eletrônica**. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Acai/SistemaProducaoAcai/index.htm>>. Acesso em setembro de 2010.

HINOJOSA, Y., KALCSIS, J., NICKEL, S., PUERTO, J., VELTEN, S. Dynamic supply chain design with inventory. **Computers & Operations Research**. n. 35, p.373–391, 2008.

HOMMA, A. K. O; NOGUEIRA, O. L; MENEZES, A. J. E. A; CARVALHO, J. E. U; NICOLI, C. M. L; MATOS, G. B. Açaí: novos desafios e tendências. **AMAZÔNIA: Ciência & Desenvolvimento**. n.2, v. 1, 2006.

PESSOA, J. D. C. **Pesquisa de campo**. Pesquisador vinculado à EMBRAPA São Carlos, 2007.

ROSA, L. A. B. **Comercialização na Agroindústria de pequeno porte: a experiência de agricultores agroindustriais familiares do município de Londrina – PR**, 2003. Dissertação (Mestrado em Gestão de Negócios), Universidade Estadual de Londrina, Universidade Estadual de Maringá, 2003.

SAGRI. **Secretaria do Estado da Agricultura. Seminário Setorizado do Açaí discute problemas na produção.** Disponível em <<http://www.sagri.pa.gov.br/?q=node/184>>. Acesso em junho de 2010.

SANTANA, A.C. CARVALHO, D.F. MENDES, F.A.T. **Organização e competitividade das empresas de polpas de frutas no Estado do Pará: 1995 a 2004.** Belém: FIDESA/UNAMA, 2006.

SILVA, M.N.A. **O mix de produtos como estratégia competitiva das agroindústrias de polpa de frutas do estado do Pará,** 2004. Dissertação (Mestrado em Economia Rural), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2004.

SILVA, M.C.N. **Competitividades das Agroindústrias de polpa de frutas das mesorregiões Metropolitana de Belém e Nordeste Paraense (1996 a 2003).** Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade da Amazônia, 2006.

SILVA, I. M.; SANTANA, A. C.; REIS, M. S. Análise dos retornos sociais oriundos de adoção tecnológica na cultura de açaí no estado do Pará. **Amazônia: Ci. & Desenv.** v. 2, n. 3, 2006.

SOARES, L.C.C; COSTA, F.A. **Os limites do agroextrativismo no Baixo Tocantins, 2005.** Disponível em <[www.alasru.org/cdaldasru2006/14%20GT%20Luciane%20Cristina%20Costa%20Soares.%20Francisco%20Assis%20Costa.pdf](http://www.alasru.org/cdaldasru2006/14%20GT%20Luciane%20Cristina%20Costa%20Soares.%20Francisco%20Assis%20Costa.pdf)>. Acesso em maio de 2010.

## **Açaí production chain: production planning**

The açaí market has been expanding since 1995 what has contributed to the increase of demand and of prices. It has also attracted new investments such as the intensive production on non-flooded areas, the adoption of management in areas of floodplain extraction and the establishment of new process industries, amongst others. In order to support the production planning of açaí pulp, we propose a mixed-integer program that minimizes the costs of deployment of new cultivation spots and transportation costs from the cultivation spots to the industry. The model always meets a given demand. We ran tests in which the instances were generated based on real-world data and the results indicate that the estimated capacity of the processing industries are large enough to meet the future demand. On the other hand, the cultivation spots are unable to keep up with the increasing demand.

**KEYWORDS. Açaí Production Chain, Integer programming, Strategic Planning.**

