

PROPOSTA DE UM MODELO MATEMÁTICO PARA A CADEIA PRODUTIVA AGROINDUSTRIAL DE AÇAÍ NO PARÁ

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

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

Thiago Kronig

Universidade de São Paulo - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
Av. Trabalhador São-Carlense, 400, 13560-970, São Carlos - SP, Brasil
thiagokronig@gmail.com

RESUMO

Neste trabalho, consideramos a cadeia produtiva agroindustrial do açaí no Estado do Pará. 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 beneficiamentos, entre outros. Com o objetivo de auxiliar a tomada de decisão, propomos um modelo matemático de programação inteira mista que tem como finalidade analisar a viabilidade da cadeia produtiva com vários atores, seja beneficiadores ou produtores, atendendo à clientes nacionais e/ou internacionais, de modo que seja possível encontrar alternativas de melhoria da cadeia e sugestão de cenários para expansões futuras. O modelo matemático foi resolvido com o *software* IBM ILOG CPLEX 12.1 e os resultados preliminares para instâncias geradas de forma aleatória são analisados.

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

ABSTRACT

In this paper, we consider the agribusiness chain of Açaí in Pará. 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 decision-making, we propose a mixed-integer program to allow the viability analysis of the production chain considering its various actors and clients. The model should also allow finding improvement alternatives and suggestions for future expansion of the chain. The mathematical model was solved using IBM ILOG CPLEX 12.1 and random instances were generated and analyzed.

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

AG&MA - PO na agricultura e Meio Ambiente

1. Introdução

A dinâmica da globalização, a velocidade de propagação da informação, o interesse pela alimentação saudável e o conseqüente aumento da demanda produziram mudanças substanciais na atividade econômica agroindustrial. O Brasil é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários: é o primeiro produtor e exportador de café, açúcar e suco de laranja. Lidera ainda o ranking das vendas externas de álcool, soja, carne bovina, carne de frango e tabaco (Andrighetto *et al.* 2008). Dessa forma, as agroindústrias iniciaram o processo de melhoria e ajustes em produtos, processos e nas formas de organização para, desta maneira, encontrar alternativas de eficiência produtiva, crescimento ou mesmo de sobrevivência, frente aos novos desafios impostos pela competitividade (Silva, 2004).

Lauschner (1995) apud Rosa (2003), define agroindústria em sentido amplo como sendo a unidade produtiva que transforma o produto agropecuário natural ou manufaturado para utilização intermediária ou final. Em sentido restrito, a agroindústria é a unidade produtiva, que transforma, para a utilização intermediária ou final, o produto agropecuário ou seus subprodutos não manufaturados. Segundo Pinazza (1999) apud Rosa (2003), a agroindústria apresenta-se como instrumento analítico e experimental para a realização de diagnósticos e simulações de estratégias para as cadeias produtivas. Deve-se levar em conta desde a produção até o abastecimento final. Os agentes fornecedores de insumos e fatores de produção, os produtores, os armazenadores, os processadores e distribuidores, além dos prestadores de serviço, são objetos de observação individual e em conjunto.

As empresas brasileiras do segmento agroindustrial de frutas aproveitam a oportunidade para atingir outras fatias de mercado e consumidores diversos, ajustando-se às tendências de consumo mundial dos produtos derivados de frutas, como polpas, sucos, néctares, geléias, doces etc. Um caso é a agroindústria do Açaí, no Estado do Pará, responsável pela produção de 95% do fruto (Silva, 2004). O açaizeiro é uma palmeira cujo fruto é o açaí, espécie nativa da Amazônia, encontrada em terrenos de várzea, no estuário dos rios Tocantins, Pará e Amazonas. O açaí, 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 açaí era até então predominantemente extrativista, objetivando o consumo doméstico, com pouca venda de excedente (Santana *et al.* 2006). A partir de meados da década de 90, o suco de açaí 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, 2006; Gomes apud Silva *et al.* 2006). No Brasil, a demanda de açaí vem crescendo entre os consumidores com maior nível de 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 produção extrativista, entretanto, não conseguiu seguir o aumento da demanda, de forma que o crescimento do mercado de polpa do fruto de açaí 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. Entre outros, destacam-se 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 cenário, este trabalho propõe um modelo de programação linear inteira mista que possibilita determinar os custos de produção e transporte da cadeia produtiva, além de simular a dinâmica da cadeia com mais participantes, seja clientes, produtores ou beneficiadores, de modo que, os pedidos do clientes sejam atendidos e o custo total minimizado. O modelo matemático incorpora decisões de fluxo para auxiliar no planejamento da produção da cadeia produtiva agroindustrial do Açaí no Pará. Espera-se que, a partir da análise das soluções obtidas por meio do modelo, seja possível inferir o fluxo ótimo de produtos pela cadeia e os custos produtivos e de transporte, bem como analisar a possibilidade de abertura de novos sítios de produção e de novas

empresas beneficiadoras, alterando a dinâmica da cadeia.

O trabalho foi organizado da seguinte forma. Na Seção 2 descreve a cadeia produtiva agroindustrial do açaí no Pará. Na Seção 3 apresenta-se o modelo matemático proposto. Os resultados computacionais preliminares são indicados na Seção 4, seguido das conclusões e perspectivas futuras na Seção 5.

2. A cadeia produtiva agroindustrial do açaí no Pará

Uma cadeia de produção industrial é definida a partir da identificação de determinado produto final. Após esta identificação, convém ir encadeando, de jusante a montante, as várias operações técnicas, comerciais e logísticas, necessárias a sua produção. O conceito de cadeia de produção agroindustrial relaciona-se ao conceito de cadeia de suprimentos, que pode ser definido, em termos gerais, por uma rede de companhias autônomas ou semi-autônomas que são efetivamente responsáveis pela obtenção, produção e liberação de um determinado produto e/ou serviço ao cliente final. A cadeia de produção agroindustrial é representada por agentes e seus elos. Estes agentes são produtores de matérias-primas e produtos processados industrialmente, intermediários comerciais do atacado e do varejo e, finalmente, o consumidor final. Os elos representam os fluxos físicos (materiais), de informações para movimentação destes materiais, bem como financeiros resultantes das transações comerciais (Costa, 2002).

Segundo pesquisa de campo realizada por Pessoa (2007), a cadeia produtiva do açaí no Pará é formada pelos seguintes agentes:

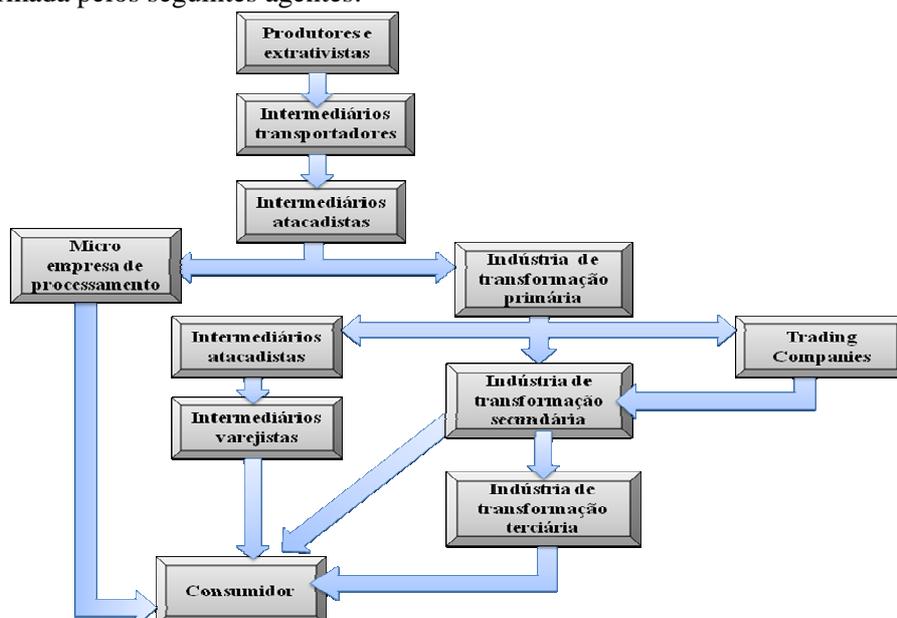


Figura 1: Os elos do sistema de comercialização do açaí e suas inter-relações, adaptado de Pessoa, 2007.

2.1 Produtores e extrativistas

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; os gastos com o transporte são inclusos no preço do fruto. Porém, os gastos com transporte da pedra do município até a empresa processadora são assumidos pela empresa processadora (Soares e Costa, 2005). Com o crescimento do mercado de polpa do fruto de açaí, tornou-se necessário o cultivo de novas plantações em terra firme (Homma *et al.* 2006), bem como a inserção do açaí na linha de produção das agroindústrias existentes, além da implantação de novas plantas industriais visando atender aos mercados externo e interno (Santana *et al.* 2006). Para aumentar ainda mais a oferta de frutos, pode-se também optar pelo o manejo, que consiste em aumentar a população de açazeiros que ocorrem naturalmente na floresta de várzea. Apesar de dobrar a produtividade, o manejo dos açazeiros nativos tem promovido 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 de açaí é pequena no primeiro semestre, somando cerca de apenas 20% e cresce bastante nos meses finais do ano, quando são colhidos 80% ou até mais de todo o volume produzido. Durante o verão, a oferta abundante causa diminuição dos preços. No inverno, porém, período de entressafra, a escassez faz com que os preços subam em disparada. Durante a entressafra do açaizeiro, no Estado do Pará, os processadores paraenses, principalmente de Belém, são supridos pelos frutos produzidos nos Estados do Maranhão e do Amapá. A produção vinda do Maranhão é transportada por via rodoviária e a do Amapá freqüentemente levada por barcos dotados de câmaras frias ou em compartimento de carga com gelo (Embrapa Amazônia Oriental, 2005). Por esse motivo, considera-se no modelo uma variável artificial referente a aquisição de açaí de fora da cadeia, também chamada de variável de *outsourcing* ou de terceirização.

No modelo matemático proposto, considera-se como produtores os municípios. Essa caracterização foi adotada por dois motivos: primeiro, porque há inúmeros produtores pequenos de açaí cuja produção, considerada isoladamente, não teria grande significância. Segundo, porque 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, adota-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 Micro Empresa de Processamento e Indústria de Transformação Primária

O Sindicato da Indústria de Frutas e Derivados do Estado do Pará (Sindfrutas) possui 22 fábricas processadoras de açaí afiliadas, mas estima-se que existam mais 37 ou 38 indústrias. Não se dispõe de uma estimativa confiável do potencial de produção de frutos, mas observou-se que em 2007, a oferta de frutos estava diminuída e estimou-se que apenas 70% da capacidade instalada de processamento estava sendo utilizada. Desta forma, para o modelo matemático, assume-se que as empresas beneficiadoras tentarão trabalhar em sua capacidade máxima, portanto comprarão frutos tanto quanto for possível processar. É possível considerar que as empresas trabalham com capacidade instalada maior do que a demanda para fazer frente aos “surto” de frutos de chegam em determinadas épocas e necessitam ser processados no mesmo dia, sob pena de perda dos frutos devido a perecibilidade do produto. Os produtos obtidos do fruto do açaí são classificados, de acordo com a porcentagem de sólidos totais. Assim, os produtos incluem: (1) polpa de açaí: polpa extraída sem adição de água e sem filtração; (2) açaí grosso ou especial: polpa extraída com adição de água e filtração, com sólidos totais acima de 14%; (3) açaí médio ou regular: polpa extraída com adição de água e filtração, com sólidos totais entre 11 e 14%; (4) açaí fino ou popular: polpa extraída com adição de água e filtração, apresentando sólidos totais entre 8 e 11% (Alexandre *et al.* 2004). Na cadeia produtiva podemos encontrar beneficiadores cuja produção é dedicada exclusivamente à exportação, o que é facilmente considerado no modelo.

2.3 Indústria de Transformação Secundária e Indústria de Transformação Terciária

São as indústrias de alimento, bebidas e complementos alimentares. No mercado externo há empresas de bebidas e sorvetes, bebidas à base de açaí com outras plantas. No mercado de nutracêuticos, que são complementos alimentares com qualidades funcionais, pode-se citar empresas que comercializam capsulas de açaí no Japão, além de várias empresas que vendem barras de cereal e biscoitos. A *indústria de transformação primária* processa o fruto, o produto na forma de bebida, mas geralmente não a vende diretamente ao consumidor. Já as *indústrias de transformação secundárias* processam a bebida transformando-a no seu produto final, como nas indústrias de bebidas e energéticos, ou em produto intermediário como extratos e concentrados. No modelo matemático, não consideramos separadamente as indústrias de transformação.

2.4 Consumidor Final

A demanda pelo açaí está em alta: o produto 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 frequentadores de academias. É também vendido diretamente ao consumidor e começa a ganhar popularidade entre os nativos e turistas. 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, 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 feitas em academias de ginástica (Homma, 2006).

3. O modelo matemático

Para elaboração do modelo matemático, utilizamos uma simplificação da cadeia apresentada na Seção 2 e representada na Figura 2. O modelo matemático proposto envolve produtores, beneficiadores, exportadores e mercado nacional. Permite a implantação de manejo em cultivos puramente extrativistas e novos *sítios* de plantação de açaí em terra firme. Nesse modelo, ainda não será considerado a abertura de novas empresas beneficiadoras. O modelo apresentado aqui foi baseado no modelo proposto por Hinojosa *et al.* (2008), devido ao fato de ser um modelo de localização de facilidades, aplicado à gestão da cadeia de suprimentos e que permite a abertura de *sítios* de produção e armazenagem não existentes no início do horizonte de planejamento e o fechamento daquelas instalações em funcionamento no início. O fechamento das instalações também não é considerado no modelo proposto.

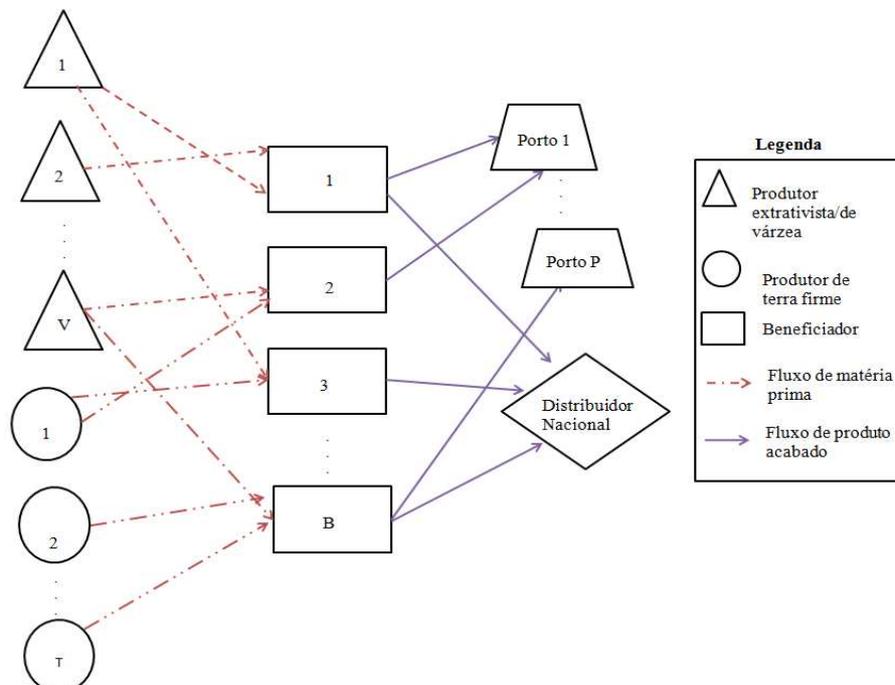


Figura 2: Simplificação da Cadeia Produtiva Agroindustrial do Açaí.

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

LC : conjunto de localizações de clientes, indexados por $i \in LC$;

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 no início do planejamento;

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 processados, diferenciados pelo teor de sólidos, indexados por $p \in P$.

Dados 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 um kg de açaí em área de várzea, no sítio $k \in LP$ no período t .

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.

Dados 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 açaí 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)

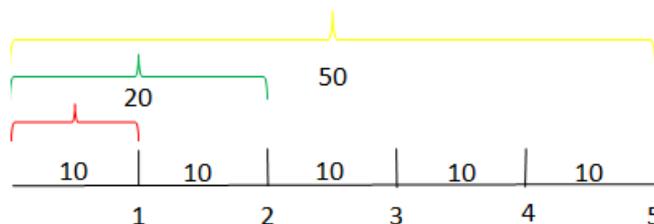
TCT_{lt} : custo do sítio $l \in LTc$ produzindo durante todo o horizonte de planejamento, por hectare;

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 açaí por km, em área de várzea;

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

Dados referentes aos beneficiadores

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

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

CP_{pjt} : custo de manufatura do produto p no beneficiador $j \in LB$ no período t ;

IC_{pjt} : custo unitário de estoque do produto p no beneficiador $j \in LB$ no período t ;

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.

Dados referentes aos clientes

D_{pit} : demanda de produto p do cliente $i \in LC$ no período t .

BC_{ji} : distância entre o beneficiador $j \in LB$ e o cliente $i \in LC$ em km,

b : custo de transporte de 1kg de polpa processada de açaí por km.

Produtos vindos de fora da cadeia

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

Variáveis de decisões (decisões táticas)

$rasa_{kt}$: açaí colhido várzea no sítio k no período t (kg)..

$tfirm_{lt}$: açaí colhido em terra firme no sítio l no período t (kg,).

x_{jkt} : quantidade de açaí enviada para o beneficiador j proveniente da plantação k no período t em kg,

f_{jlt} quantidade de açaí enviada para o beneficiador j proveniente da plantação l no período t em kg,

O_{jt} açaí 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 (kg,)

I_{pjt} : estoque de produto p existente no beneficiador j no período t (kg,).

Y_{pijt} : quantidade de produto p entregue para o cliente i vindo do beneficiador j no período t , em kg,

Variáveis de decisões 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 $l \in LTO$

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

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

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

A função objetivo 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 e do beneficiador para o cliente; do custo de processamento das polpas e de sua estocagem; do custo de manejar os cultivos em áreas de várzea e do custo de implementação e manutenção dos cultivo em terra firme.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{t=1}^T \sum_{k \in LP} CR_{kt} \text{rasa}_{kt} + \sum_{t=1}^T \sum_{l \in LT} CTF_{lt} \text{tfirm}_{lt} + \sum_{t=1}^T \sum_{j \in LB} OSC_{jt} O_{jt} + \sum_{t=1}^T \sum_{j \in LB} \sum_{p \in P} CP_{pjt} \text{Pr od}_{pjt} + \sum_{t=1}^T \sum_{j \in LB} \sum_{p \in P} IC_{pjt} I_{pjt} \\ & + \sum_{t=1}^T \sum_{k \in LP} TCP_{kt} pe_k z_{kt} + \sum_{t=1}^T \sum_{l \in LT} TCT_{lt} NH_{lt} + \sum_{t=1}^T \sum_{j \in LB} \sum_{k \in LP} a1 PB_{jkt} x_{jkt} + \sum_{t=1}^T \sum_{j \in LB} \sum_{i \in LC} \sum_{p \in P} bBC_{jit} y_{pjt} \end{aligned} \quad (1)$$

Sujeito a:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\sum_{p \in P} I_{pjt} \leq BPS_{jt}, \quad \forall j \in LB, \forall t, \quad (15)$$

$$\sum_{p \in P} \text{Pr od}_{pjt} + I_{pj,t-1} = \sum_{i \in LC} y_{pjit} + I_{pjt}, \quad \forall j \in LB, \forall p \in P, \quad (16)$$

$$\sum_{j \in LB} Y_{pjit} = D_{pit}, \quad \forall i \in LC, \forall p \in P, \forall t, \quad (17)$$

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

(18)

$$x_{jkt}, f_{jlt}, y_{pijt}, rasa_{kt}, tfirm_{lt}, Prod_{pjt}, I_{pjt} \geq 0, l \in LT, k \in LP, j \in LB, i \in LC, \forall t \quad (19)$$

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, 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

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) garante que só haverá implantação de manejo uma vez durante o horizonte de planejamento.

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 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 $t-4$.

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 $x_{i,q,t}$ e a variável auxiliar $w_{i,q,t}$, 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 q 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 .

O conjunto (11) garante o atendimento da demanda, 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 sem exceder sua capacidade de processamento. (14) estabelecem a relação entre os frutos recebidos e a quantidade de polpa p produzida e (15) garantem que a estocagem no final do período t não excederá a capacidade de armazenagem do beneficiador no período.

As restrições (12) garantem que a produção total no sítio k (manejadas e extrativistas) no período t tem que ser suficiente para atender os consumidores (beneficiadores) j . E as restrições (13) garantem que a produção total em terra firme para cada sítio k deve ser suficiente para o atendimento das solicitações dos beneficiadores.

As restrições (16) são de conservação do fluxo nos beneficiadores, garantem que o que será produzido de produto p no beneficiador j no período t , mais o estoque anterior em $t-1$ é igual à parcela de produto entregue ao cliente mais o estoque de p no final no período t . (17) garantem o atendimento da demanda do cliente i no período t . (18) e (19) são restrições de domínio.

4. Estudo Computacional

Os testes computacionais são preliminares e serão realizados em duas etapas. Na primeira etapa consideramos que a capacidade de entrega dos frutos é suficiente para atender as demandas dos beneficiadores e analisamos qual a influência do crescimento da demanda ao longo dos anos, para vários horizontes de planejamento, na capacidade produtiva dos beneficiadores. O intuito deste teste é verificar a necessidade de maiores investimentos da capacidade produtiva, seja na indicação de aberturas de novas indústrias de beneficiamento, seja no aumento da capacidade de beneficiamento de cada indústria. Na segunda etapa analisaremos a necessidade de abertura de novos sítios de produção, considerando que a produção extrativista e manejada possa diminuir devido a vários fatores e em cenários onde não ocorra a possibilidade obtenção de frutos de fora da cadeia, ou seja, em cenários onde não há a possibilidade de *outsourcing*. Estes testes iniciais mostram o potencial de aplicação do modelo em análise de cenários possíveis para a

cadeia agroindustrial do açaí, uma vez, como veremos, que o pacote de otimização IBM ILOG CPLEX 12.1 é capaz de resolver os exemplos gerados em pouco tempo computacional.

4.1 Análises Considerando os Beneficiadores

Nesta etapa consideramos a existência de 20 beneficiadores, quatro grandes clientes com demanda crescente a uma taxa de 12% ao ano e com horizontes de planejamento de 10, 13, 15, 17 e 20 anos. As demandas dos clientes, em toneladas, no primeiro ano são dadas por (4263.50, 2558.10, 852.70, 852.70). Nestes cenários consideramos a existência de 8 produtores extrativistas, 10 áreas manejadas, 10 áreas livres para implantação de cultivo em terra firme e a existência de 8 áreas cultivadas. Dada a relação de beneficiadores e clientes, observa-se que dado a quantidade de produtores, teremos frutos suficientes para o atendimento da demanda. Consideramos também que os beneficiadores entregam apenas um tipo de produto. Nos dados consideramos que a taxa de produção/hectare em uma área extrativista é de 4.228 toneladas ao ano, sendo que caso ocorra manejo, esta taxa de produção dobra. Para cada produtor extrativista, consideramos que a área é de 5000 hectares, bem como para as áreas manejadas. Consideramos também que a produção em terra firme é de 5.656 toneladas por hectare ao ano e que as temos para implantação e já implantadas áreas de 16485 hectares, sendo que caso ocorra implantações ao longo dos anos, podemos particionar estas áreas em até 10 partes.

As capacidades produtivas dos beneficiadores são de 10000 toneladas de produto por ano, sendo que a taxa de aproveitamento do fruto é de 85%, ou seja, de cada tonelada de fruto que chega ao beneficiador, produz 850 kg de produto final. Cada beneficiador pode estocar 70% da capacidade produtiva. Os custos nesta fase inicial de teste são considerados constantes e de uma unidade para todas as unidades produtivas e um valor alto para o outsourcing. Nos cenários analisados, consideramos que os beneficiadores, no instante inicial, têm capacidade de produção suficiente para atender toda a demanda.

Nos cenários analisados para planejamentos de 10, 13, 15 anos, com uma demanda crescente a uma taxa de 12% ao ano, os beneficiadores apresentam uma capacidade de beneficiamento de frutos suficiente para o atendimento da demanda, sem necessidade de fazer estoque do produto. Para planejamento de 17 anos, com uma demanda crescente a uma taxa de 12% ao ano, nota-se o uso médio de estoque de 8000 toneladas do produto final, a partir do 15º ano de planejamento. Significa que foi atingida uma capacidade crítica de beneficiamento, como pode ser constatado no planejamento de 20 anos, cuja instância foi inatível. Para a instância com horizonte de 20 anos, um aumento de 11% na capacidade de beneficiamento foi suficiente para tornar o problema factível, porém com uso intenso de estocagem de produto beneficiado. Análises semelhante com mais beneficiadores, com capacidades distintas, com mais produtos e clientes podem ser realizadas para analisar a necessidade de investimentos futuros, como pode ser visualizado, em poucos cenários, com capacidade de beneficiamento maior que as demandas nos anos iniciais. Segundo dados de Santana *et al.* (2006), a demanda entre os anos de 2001 e 2005 cresceu, em média, 20% ao ano, sendo assim, análises com cenários mais apertados devem ser considerados no futuro para prever a necessidade de novos investimentos. Convém salientar que as instâncias geradas foram resolvidas em um tempo computacional inferior a um segundo.

Análises Considerando os Produtores

Como na etapa anterior, consideramos a existência de 20 beneficiadores, quatro grandes clientes com demanda crescente a uma taxa de 12% ao ano e com horizontes de planejamento de 10, 13, 15, 17 e 20 anos. As capacidades dos beneficiadores e as demandas dos consumidores são as mesmas da Seção anterior, bem como as produções das áreas extrativistas, manejadas e de terra firme. O custo de manejar uma área extrativista é de uma unidade, de manutenção de área manejada de 7 unidades por hectare, bem como, de manutenção da área cultivada. O custo de abrir uma área nova é de 2 unidades por hectare. O custo de colheita em todas as áreas é considerado de 107 unidades/hectare. Nesta Seção, explicitar os custos é importante, pois precisamos estimar a necessidade de abertura de novas áreas produtivas.

Nestes cenários consideramos a existência de 8 produtores extrativistas, 1 área

manejada, 10 áreas livres para implantação de cultivo em terra firme e a existência de 1 área cultivada. Assim, queremos saber a necessidade de manejar novas áreas e também de plantar em terra firme. Considerando somente os custos de abertura de áreas e implantação de manejo no início para todos os cenários, a resposta obtida pelo modelo indica a utilização da área extrativista o máximo possível, seguida da implantação de manejo, e por último, se necessário, a implantação de novas áreas. Este comportamento é o esperado devido os custos considerados. Em um estudo futuro, podemos considerar dos custos de implantação de manejo os impactos ambientais, o que poderá indicar a necessidade de abertura de novas frentes em terra firme. Além disso, não foram consideradas as distâncias entre os fornecedores e consumidores da rede. Com a consideração destas possibilidades, certamente as respostas obtidas pelo modelo indicarão aberturas de novas frentes e implantação de manejo. Mesmo que essas análises preliminares necessitem de um refinamento, com dados mais próximos da realidade, os resultados indicam a possibilidade de aplicação do modelo matemático como ferramenta de auxílio à tomada de decisões, pois foi possível obter soluções ótimas em um tempo computacionalmente irrisório (menos de dois segundos).

4.3. Considerações Finais

Uma vez que as decisões do modelo matemático são estratégicas e tomadas no longo prazo, o horizonte de planejamento dado por T foi tomado em anos. Entretanto, ao agregar as capacidades dos beneficiadores e dos produtores, 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; o fato de alguns beneficiadores não funcionarem durante todos os meses do ano; o balanceamento da capacidade, de forma que estoques sejam formados para atender o cliente durante o período em que a safra é baixa.

Para visualizar melhor essas características da cadeia, uma estratégia possível é executar o modelo em partes, de forma que inicialmente sejam obtidas as soluções estratégicas, com t dado em anos. Posteriormente, já de posse das soluções estratégicas, executar novamente o modelo matemático, considerando somente as decisões táticas com t dado em meses e ver como se comporta o fluxo da rede logística. Desta forma, o modelo proposto pode ser utilizado de maneira hierárquica. Outra consideração a ser feita é a de que embora apresentemos a possibilidade de implantação de cultivo manejado em área de várzea e, apesar da existência de amplo mercado para frutos do açaizeiro, o manejo nas áreas de várzea esconde riscos ambientais que podem ganhar magnitude e que precisam ser considerados.

As grandes propriedades nas áreas de várzeas são constituídas por moradores tradicionais, cuja venda ocorre mais em decorrência de herança ou problemas familiares. Dificilmente grupos capitalistas vão se envolver no processo produtivo nas áreas de várzeas, podendo, no entanto, se envolverem no sistema de beneficiamento (Homma *et al.* 2006). Homma *et al.* (2006) afirmam que, para reduzir a pressão sobre as várzeas seria importante contrabalançar com os plantios de açaizeiros em áreas de terra firme, em sistema agroflorestais, ocupando as áreas desmatadas e as que não deveriam ter sido desmatadas. Esse aspecto poderá ser levado em consideração quando das elaborações de cenários futuros para o modelo, atribuindo uma penalidade à implantação de cultivo manejado.

5. Conclusões e Perspectivas

Neste artigo foi proposto um modelo de programação linear inteira mista que incorpora decisões de fluxo 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, ao beneficiamento dos frutos, entre outras. Os primeiros testes computacionais relatados neste artigo

considerando dados gerados de forma aleatória mostraram a potencialidade de utilização do modelo matemático com uma ferramenta de apoio à tomada de decisões.

Os passos futuros consistem em aplicar o modelo matemático considerando dados "mais próximos dos reais" e simular vários cenários futuros. Outras perspectivas estão relacionadas à análise do modelo considerando o caráter sazonal de produção do fruto, bem como da demanda. Finalmente, pode-se considerar o impacto da implantação de manejo em áreas de várzea (extrativistas) devido a fatores ambientais.

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. (2008), *Produção Integrada de Frutas e Sistema Agropecuário de Produção Integrada no Brasil*.

Alexandre, D.; Cunha, R. L.; Hubinger, M. D.(2004) Conservação do açaí pela tecnologia de obstáculos. *Rev Ciênc. Tecnol. Aliment.*, 24(1): 114-119.

Costa, E. J. S. C. Avaliação do Desempenho Logístico de Cadeias Produtivas Agroindustriais: um Modelo com Base no Tempo de Ciclo. *Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará*, 2002.

Embrapa Amazônia Oriental. (2005) *Sistemas de Produção 04, versão eletrônica*.

Disponível em:

(<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Acai/SistemaProducaoAcai/index.htm>) 9, 2010.

Hinojosa, Y., Kalcsis, J., Nickel, S., Puerto, J., Velten, S. (2008), Dynamic supply chain design with inventory. *Computers & Operations Research* 35: 373 – 391.

Homma, A. K. O; Nogueira, O. L; Menezes, A. J. E. A; Carvalho, J. E. U; Nicoli, C. M. L; Matos, G, B. (2006), Açaí: novos desafios e tendências. *AMAZÔNIA: Ciência & Desenvolvimento v. 1, n. 2*.

Pessoa, J. D. C. (2007), Pesquisa de campo. Pesquisador vinculado à EMBRAPA São Carlos.

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

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

Santana, A. C. Carvalho, D. F. Mendes, F.A. T. (2006), Organização e competitividade das empresas de polpas de frutas no Estado do Pará : 1995 a 2004. Belém: Unama.

Silva, M. C. N. (2006), 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.

Soares, L. C. C; Costa, F. A. (2005), *Os limites do agroextrativismo no Baixo Tocantins*. Disponível em

(www.alasru.org/cdaldasru2006/14%20GT%20Luciane%20Cristina%20Costa%20Soares,%20Francisco%20Assis%20Costa.pdf) 5, 2010.