

Universidade Federal de Ouro Preto Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas Departamento de Engenharia de Produção



Trabalho de Conclusão de Curso

Uma proposta de modelagem linear para a cadeia reversa do açaí no estado do Pará

Eduardo Sanches da Silva Filho

João Monlevade, MG 2019

Eduardo Sanches da Silva Filho

Uma proposta de modelagem linear para a cadeia reversa do açaí no estado do Pará

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do grau em Engenharia de Produção pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto. Orientadora: Prof.^a Dr.^a Mônica do Amaral

Universidade Federal de Ouro Preto João Monlevade 2019

S586p Silva Filho, Eduardo Sanches da.

Uma proposta de modelagem linear para a cadeia reversa do açaí no estado do Pará [manuscrito] $\,/\,$ Eduardo Sanches da Silva Filho. - 2019.

46f.: il.: tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Mônica do Amaral.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Administração da produção. 2. Açaí - Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 3. Logística. 4. Resíduos orgânicos . I. Amaral, Mônica do. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Titulo.

CDU: 658.5





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas Colegiado do Curso de Engenharia de Produção

ATA DE DEFESA

Aos vinte dias do mês de fevereiro de dois mil e dezenove, às 14 horas, na sala C204 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pelo aluno **Eduardo Sanches da Silva Filho**, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Mônica do Amaral, George Henrique Godim da Fonseca e Tatiana Alves Costa. O aluno apresentou o trabalho intitulado "**UMA PROPOSTA DE MODELAGEM LINEAR PARA A CADEIA REVERSA DO AÇAÍ NO ESTADO DO PARÁ**". A comissão examinadora deliberou, pela:

(X) Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções: 30 dias do aluno, com a nota 9,0 (nove vírgula zero). Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP 04/2017 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo aluno.

João Monlevade, 20 de Fevereiro de 2019.

Prof^a. Dr^a. Mônica do Amaral - Orientadora

Prof. Dr. George Henrique Godim da Fonseca - Convidado

Prof^a. Dr^a. Tatiana Alves Costa - Convidada

Eduardo Sanches da Silva Filho - Aluno

Agradecimentos

Não há vitória sem esforços, e hoje sou infinitamente grato a várias pessoas que estiveram comigo nessa caminhada desde o início e também as pessoas que se juntaram a minha durante a mesma, e a todos, sou grato. Em primeiro lugar, à Deus toda glória.

Aos meus pais, Eduardo e Rosineide, toda a gratidão do mundo pelo amor, carinho, conselhos, dedicação, empenho, esforço e tantas outras coisas que me proporcionaram para que eu pudesse chegar até aqui com condições de realizar esse projeto de vida. Amo vocês incondicionalmente.

Às minhas irmãs, Emily e Evelyn, agradeço pelo cuidado, carinho, amor, preocupação e por todos os puxões de orelha, vocês são meu incentivo na vida, luzes que me guiam para os caminhos corretos. Amo vocês demais. Às famílias Sanches e Candiotto, sou grato por acreditarem em mim e no meu potencial.

Aos velhos amigos, Eduardo, Jade, Jéssica e Mariana, pela parceria de sempre, por todas as risadas e por acreditarem e sonharem junto comigo, e por me darem a oportunidade de sonhar junto com vocês também, vamos vencer, juntos! Aos amigos conquistados na Universidade Federal de Ouro Preto, muito obrigado pelos momentos de estudo, risadas, aconselhamentos, parceria. Vocês me ajudaram a tornar esses anos mais leves. Aos novos amigos, Anaíres, Camila, Diego e Tuyla, pela cumplicidade, carinho, afeto e alegria, por entrarem na minha vida e me incentivarem a alçar novos vôos e enxergar a vida de um jeito diferente. À turma de GV, obrigado pelos momentos de descontração, bate-papo, conselhos e todo o carinho de sempre. Aos meus amigos, muito obrigado.

A toda a Universidade Federal de Ouro Preto pela oportunidade, bem como os técnicos, professores, terceirizados e etc que deram o suporte necessário para uma formação em excelência.

E, claro, a Mônica do Amaral, minha orientadora, minha amiga, alguém que eu terei gratidão eterna pelo simples fato de ter entrado na minha vida com tanto amor e carinho. Muito obrigado pelos conselhos, risadas, puxões de orelha, incentivo. Você é minha professora da vida, me ensinou muito mais do que simular filas no Arena ou modelar sistemas produtivos e logísticos, você me ensinou a ser mais humano e mais perseverante, amo você, muito obrigado.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivos Gerais	2
1.1.2	Objetivos Específicos	2
1.2	Justificativa	3
1.3	Estrutura do Trabalho	3
2	REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1	Cadeia Reversa do Açaí	4
2.2	Modelagem de Cadeia de Suprimentos	7
2.3	Modelo aplicável	
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	13
3.1	Definição do problema	13
3.2	Construção do modelo	13
3.3	Solução do modelo	13
3.4	Validação do problema	14
3.5	Implementação da solução	14
4	MODELAGEM DA CADEIA REVERSA DO AÇAÍ	15
4.1	Modelagem matemática da cadeia reversa do açaí	16
4.2	Comparações entre o modelo original e o adaptado	19
5	COLETA E ANÁLISE DE DADOS	22
5.1	Dados da cadeia reversa do açaí	22
6	RESULTADOS COMPUTACIONAIS	26
6.1	Cenário base	26
6.2	Cenário alternativo: Minimização	30
6.3	Cenário alternativo: Maximização	31
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
	REFERÊNCIAS	36

Lista de ilustrações

Figura 1 –	Açaizeiros (Eulerpe oleracea). Fonte: Reis et al. (2002)	1
Figura 2 –	Cadeia do açaí. Fonte: Almeida et al. (2016)	4
Figura 3 –	Cadeia produtiva do açaí. Fonte: CONAB (2015)	5
Figura 4 –	Cadeia produtiva do açaí e seus elos reversos. Fonte: Almeida et al. (2016)	6
Figura 5 –	Fluxograma do aproveitamento do açaí. Fonte: SAGRI (2011) $\ \ldots \ \ldots$	6
Figura 6 –	Rede não capacitada de transporte. Fonte: Apaiah e Hendrix $\left(2005\right)$	12
Figura 7 –	Rede capacitada de transporte. Fonte: Apaiah e Hendrix (2005) $$	12
Figura 8 –	Fluxograma do modelo de Apaiah e Hendrix (2005). Fonte: o autor $$	20
Figura 9 –	Fluxograma do modelo adaptado. Fonte: o autor	20
Figura 10 –	Possíveis fluxos de transporte de toda a rede da cadeia reversa do açaí.	
	Fonte: o autor	24
Figura 11 –	Fluxo de transporte e transformação do RPPA para o cenário base.	
	Fonte: o autor	29
Figura 12 –	Fluxo de transporte do RPPA para o cenário alternativo de minimização.	
	Fonte: o autor	31
Figura 13 –	Fluxo de transporte do RPPA para o cenário alternativo de maximização.	
	Fonte: o autor	33

Lista de tabelas

Tabela 1 –	Quantidade de açaí produzida no Pará por cidade. Fonte: Tavares e	
	Homma (2015)	22
Tabela 2 –	Quantidade de produtos gerados com RPPA e taxa de utilização do	
	RPPA em cada produto. Fonte: o autor	23
Tabela 3 –	Custo de produção de cada produto a partir do RPPA. Fonte: o autor	25
Tabela 4 –	Pontos de atendimento de demanda. Fonte: o autor	25
Tabela 5 –	Quantidade de açaí em cada terminal concentrador. Fonte: o autor $$	27
Tabela 6 –	Quantidade de RPPA sem aproveitamento em cada terminal concentra-	
	dor. Fonte: o autor	27
Tabela 7 –	Quantidade de RPPA desperdiçada no produto final. Fonte: o autor $.$	28
Tabela 8 –	Legenda de identificação das cidades nas imagens. Fonte: o autor $\ \ .\ \ .$	28
Tabela 9 –	Quantidade de açaí produzida por cidade para atender a demanda do	
	cenário. Fonte: o autor	30

Resumo

Este trabalho trata da criação de uma cadeia reversa do Resíduo da Produção da Polpa do Açaí (RPPA) que abrange todo o estado do Pará. A extração de açaí é uma das principais atividades econômicas desenvolvidas no estado do Pará. O fruto é responsável por atender uma demanda interna de consumo, além de atender outras regiões do Brasil e exportação para outros continentes. Porém, a polpa do açaí corresponde a aproximadamente 15% do fruto, gerando uma grande quantidade de resíduos. Estes resíduos possuem grande potencial de transformação, podendo ser utilizados na fabricação dos mais diversificados materiais em diferentes indústrias. Para mensurar a capacidade produtiva da cadeia reversa do açaí, foi, então, desenvolvido um modelo de Programação Linear adaptado de forma a explicar da maneira mais clara possível como funciona a cadeia reversa do açaí no estado do Pará. Para validar o modelo desenvolvido, foram realizados testes com dados mais próximos possíveis da realidade da cadeia, e, a partir disso, gerados relatórios para análise gerencial.

Palavras-chave: RPPA, açaí, Pará, cadeia reversa, resíduo.

Abstract

This work deals with the creation of a reverse chain of the Açaí Pulp Production Residue (RPPA), which covers the entire state of Pará. Açaí extraction is one of the main economic activities developed in the state of Pará. an internal consumption demand, besides serving other regions of Brazil and export to other continents. However, the açaí pulp corresponds to approximately 15 % of the fruit, generating a large amount of residues. These residues have great transformation potential and can be used in the manufacture of the most diversified materials in different industries. In order to measure the productive capacity of the açaí reverse chain, a Linear Programming model was developed in order to explain as clearly as possible how açaí reverse chain works in the state of Pará. To validate the developed model, tests were conducted with data that are closest to the reality of the chain, and, from this, reports for managerial analysis were generated.

Keywords: RPPA, açaí, Pará, reverse chain, residue.

1 Introdução

Nativo da Amazônia brasileira, o açaizeiro (*Euterpe oleracea*) é encontrado em diversos estados do Brasil, tais como Amapá, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins e também em países dá América Central (Panamá) e América do Sul (Venezuela, Colômbia, Equador, Suriname e Guiana). Porém, a maior concentração desta palmácea se encontra no estado do Pará, principalmente em regiões próximas ao Rio Amazonas, onde as condições de cultivo, tais como precipitações pluviométricas, elevadas temperaturas e umidade relativa do ar facilitam o cultivo do fruto proveniente do açaizeiro, o açaí. A Figura 1 mostra um açaizeiro, árvore do fruto do açaí. (NOGUEIRA; FIGUEIREDO; MULLER, 2005).



Figura 1 – Acaizeiros (*Eulerpe oleracea*). Fonte: Reis et al. (2002)

Segundo dados do IBGE, em 2017, a produção nacional de açaí no Brasil foi de 219.885 toneladas, 2% a mais em relação ao ano de 2016, ao passo em que a produção mais que dobrou ao se comparar a extração uma década atrás (108.033 toneladas). A produção, em 2017, no estado do Pará correspondeu à 64,5% de toda a produção nacional (141.913 toneladas), mostrando a importância do estado no cultivo do fruto (IBGE, 2018).

No ano de 2014, o estado do Pará comercializou 50 mil toneladas de polpa entre outros estados do Brasil, com maior concentração entre os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, correspondendo a 68,2% de todo o volume comercializado. Entre 5 a 6 mil toneladas foram exportadas para mais de 31 países, tais como Estados Unidos e Japão. O restante do montante foi avaliado como consumido dentro do próprio estado do Pará (TAVARES; HOMMA, 2015).

Na Amazônia, a fruticultura do açaí é uma das principais atividades econômicas desenvolvidas, atrás apenas de atividades ligadas ao extrativismo mineral (minério de ferro, madeira e pecuária). Nota-se que das principais atividades economicas desenvolvidas, a fruticultura de açaí é a que apresenta maior potencial de distribuição de renda, já que esta envolve milhares de pequenos produtores e indústrias processadoras (SILVA et al., 2016).

Observando-se a importância do açaí para a economia paraense, o próximo passo é compreender o processo produtivo do açaí. Somente cerca de 15% do fruto colhido é aproveitado, gerando resíduos que correspondem a 85% da composição do fruto (SAGRI, 2010). Este resíduo é conhecido como RPPA - resíduo da produção da polpa do açaí e pode ser reutilizado de diversas formas: na indústria alimentícia, para rações e massas; na indústria de jóias, para a confecção de biojóias; na indústria de biomassas, para criação de carvão vegetal e briquetes e na indústria de moveleira, na confecção de móveis em madeira MDF, dentre outras indústrias potenciais. (ALMEIDA et al., 2016).

Porém, o tratamento do RPPA ainda não tem um padrão definido e a maioria dos resíduos não são reaproveitados e descartados de forma incorreta, o que causa prejuízo ambiental. Apesar da crescente preocupação ambiental com o RPPA, ainda é necessário se padronizar os canais de distribuição dos resíduos de forma que sua destinação seja correta para cada uma das indústrias que utilizam do material.

Diante disso, este trabalho buscou utilizar da adaptação de um modelo matemático de Pesquisa Operacional, proposto por Apaiah e Hendrix (2005) que contemplasse uma rede logística reversa de distribuição dos RPPAs para as indústrias transformadoras e, depois, a distribuição dos produtos no mercado ao qual se inserem.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é a adaptação de um modelo matemático de Pesquisa Operacional proposto por Apaiah e Hendrix (2005) de forma a trabalhar a melhor distribuição de RPPA (Resíduos da Produção da Polpa do Açaí) para confecção de diferentes produtos atendendo a diferentes localidades e mercados.

1.1.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos do trabalho:

- Estudar do atual cenário da logística reversa da cadeia do açaí;
- Levantamento de dados a respeito da distribuição dos RPPAs;
- Adaptação do modelo de Apaiah e Hendrix (2005) para geração de cenários de análise e possíveis resoluções de problemas pontuados nos cenários;

 Realização de testes sobre os cenários gerados para demonstrar a coerência e aplicabilidade do modelo

1.2 Justificativa

Apesar da crescente preocupação com as questões ambientais a respeito dos RPPA e da divulgação de trabalhos correlacionados, não são encontrados tantos trabalhos que tratem toda a cadeia reversa do açaí. Alguns trabalhos tratam do processo de tratamento dos RPPA em determinadas indústrias ou cidades, e não na totalidade do mercado.

No âmbito da Pesquisa Operacional, não foram encontrados trabalhos que desenvolvem os cenários abordados no trabalho. A adaptação de um novo modelo, bem como a análise e interpretação dos seus resultados pode contribuir para a criação de mais trabalhos relevantes na área e auxiliar a desenvolver novos projetos que envolvam os RPPA.

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho conta com uma introdução de conceitos básicos, dados e estatísticas sobre o açaí e sua importância econômica para o estado do Pará.

A seguir, apresenta uma revisão de literatura baseada em três pontos: A cadeia reversa do Açaí; Modelos de Pesquisa Operacional aplicados à Cadeias de Suprimentos e a aplicabilidade do modelo de Apaiah e Hendrix (2005) na literatura e em situações práticas.

No capítulo de metodologia de pesquisa, explica-se o tipo de metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho, bem como o processo de desenvolvimento da mesma.

Na seção seguinte, é trabalhada a modelagem da cadeia reversa do açaí, onde o modelo de Apaiah e Hendrix (2005) foi adaptado para a realidade da cadeia reversa do açaí.

Após, vem um capítulo de coleta e análise de dados retirados de diferentes fontes, como trabalhos divulgados e órgãos governamentais, auxiliando na geração de cenários de pesquisa condizentes com a realidade.

O penúltimo capítulo trata dos resultados computacionais gerados pela conjunção da modelagem adaptada com os dados coletados, gerando as respostas analisadas e adaptadas para a realidade.

Por fim, o trabalho conta com o capítulo de conclusões, onde pôde-se observar o atendimento das demandas levantadas no trabalho de forma satisfatória.

2 Revisão de Literatura

A revisão de literatura do trabalho baseou-se em três principais pilares: cadeira reversa do açaí, modelagem em cadeia de suprimentos e a aplicabilidade do modelo de Apaiah e Hendrix (2005)

2.1 Cadeia Reversa do Açaí

Para se compreender a cadeia reversa do açaí, é necessário, primeiro, entender o conceito de cadeia de suprimentos, bem como a cadeia produtiva do açaí. Segundo Ballou (2006): "cadeia de suprimentos é um conjunto de atividades funcionais (transportes, controle de estoque, etc.) que se repetem inúmeras vezes ao longo do canal pelo qual matérias-primas vão sendo convertidas em produtos acabados, aos quais se agrega valor ao consumidor".

A composição da cadeia do açaí, de acordo com Almeida et al. (2016) compreende as etapas de plantio, extração, processamento e comercialização. Seu produto final é a polpa. A Figura 2 mostra detalhadamente a cadeia do açaí.

ELOS	PROCEDIMENTO	CARACTERIZAÇÃO
Plantio	As sementes são selecionadas a partir de matrizes com especificidades (rendimento/cacho, nº de cachos etc.) devendo ser semeadas de preferência logo após o despolpamento. O manejo pode ser feito em: (a) terra firme como monocultura ou associada a outros produtos (cacau, cupuaçu, banana etc.) ou (b) em várzea, combinando com outras espécies naturais	Definição de matrizes e padrões técnicos para sementes no programa de melhoria genética da Embrapa Amazônia Oriental; diversificação de culturas para enriquecimento e manutenção da biodiversidade
Extração	A coleta é feita pelo colhedor, que escala o estipe com auxílio de uma "peconha" e corta o cacho, na sua base, tendo o cuidado para que não se desprenda uma quantidade elevada de frutos. A debulha – separação dos frutos do cacho – e a seleção é feita logo após a coleta, retirando de produtos indesejáveis	Uso de tecnologia primitiva; atividade extrativista realizada em sua maioria por agricultores ribeirinhos
Processamento	Os frutos são transportados até as unidades de processamento acondicionados em cestos, rasas ou caixas, são pesados e selecionados. São lavados, amolecidos, desinfetados e despolpados	Atividade manual e mecanizada (despolpadeiras); acondicionamento entre o meio de produção e processamento é rústico
Comercialização	O "vinho" é vendido sob diferentes preços de acordo com a adição de água (fino, médio ou grosso)	Vinho acondicionado em embalagem plástica (1 litro)

Figura 2 – Cadeia do açaí. Fonte: Almeida et al. (2016)

A etapa do processo produtivo do açaí no estado do Pará, de acordo com CONAB

(2015) possui diversos fluxos diretos e reversos, como mostra a Figura 3. A figura permite avaliar desde o comércio de produtores com intermediários, até o consumidor final.

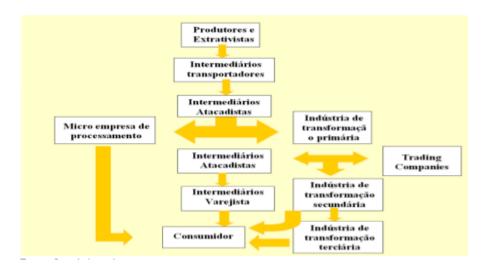


Figura 3 – Cadeia produtiva do açaí. Fonte: CONAB (2015)

No processo produtivo, 85% do fruto não é aproveitado na polpa, gerando resíduo (SAGRI, 2010). Com grande capacidade de reaproveitamento e uma crescente preocupação ambiental com estes resíduos, dá-se a importância de um estudo aprofundado da cadeia reversa do açaí.

Para entender, então, o conceito de cadeia reversa, é preciso conceituar a logística reversa. Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e seu regulamento, Decreto Nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, logística reversa é "instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada" (AMBIENTE, 2018).

Diante desta definição, a cadeia reversa do açaí representa uma parte primordial do processo produtivo da polpa do fruto, visto que mais da metade deste fruto se torna resíduo e este pode ser aproveitado das mais diversas maneiras. A Figura 4 mostra a cadeia completa do açaí, desde seu plantio, até sua destinação final.

Diversos trabalhos que abrangem a cadeia reversa do açaí são encontrados na literatura atual. Estes trabalhos, geralmente, relatam o processo de reaproveitamento do caroço e das fibras para a obtenção de novos produtos a serem distribuídos em diferentes mercados, como exemplificados na Figura 5.

Nos trabalhos desenvolvidos por Dias et al. (2017a) e Dias et al. (2017b), são desenvolvidas metodologias para o tratamento dos resíduos gerados no estado do Pará, com enfoque na Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS). Enquanto um dos trabalhos tinha como objetivo principal a avaliação das partes envolvidas na cadeia reversa em relação aos aspectos da PNRS, a fim de caracterizar os elos da cadeia e seus objetivos

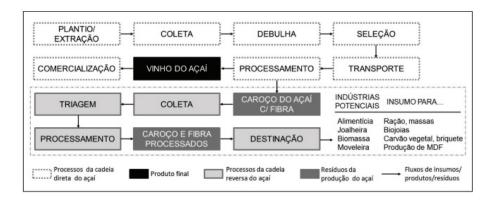


Figura 4 – Cadeia produtiva do açaí e seus elos reversos. Fonte: Almeida et al. (2016)

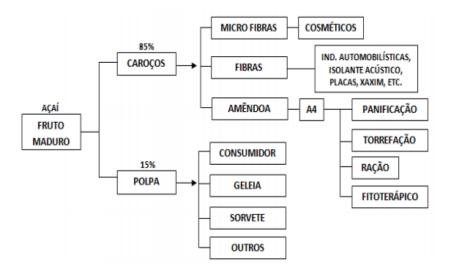


Figura 5 – Fluxograma do aproveitamento do açaí. Fonte: SAGRI (2011)

dentro desta cadeia, o outro trabalho teve enfoque em desenvolver políticas de destinação ambiental adequada aos resíduos gerados na produção da polpa do açaí.

Alvim et al. (2017) usaram uma abordagem por processos de negócios, através de um mapeamento de processos, que pudesse caracterizar as construções e evidências de relações recorrentens entre canais reversos da cadeia do açaí na cidade de Castanhal - PA, uma das cidades onde há o maior volume de produção de açaí no estado do Pará.

Oliveira e Moraes (2017) elencaram os problemas ambientais, econômicos e sociais do descarte incorreto dos resíduos gerados da produção do açaí, e, diante disso, utilizaram de Fatores Estratégicos (FE) para auxiliar na estruturação dos canais reversos do açaí, os dividindo em cinco categorias: econômico, ambiental/ecológico, tecnológico, logístico e legislativo. A pesquisa, também desenvolvida na cidade de Castanhal - PA, teve como objetivo final a transformação e destinação dos resíduos para indústrias potenciais de reaproveitamento.

Em relação à criação de produtos através dos RPPA, Benatti (2013) desenvolve proposta de criação de jóias feitas com sementes do açaí e de outros frutos, catalogando estas sementes e estudando suas propriedades.

Pereira e Júnior (2013) e Sousa et al. (2017) abordam a geração de resíduos na cadeia do açaí e a transformação destes resíduos em carvão ativado que pode ser utilizado no tratamento de água em cidades paraenses, com as fases de carbonização, que é o tratamento térmico, retirando componentes voláteis e secagem e a ativação, com a impregnação com agentes químicos e uma nova carbonização. Já Ribeiro (2017) desenvolve um estudo do extrativismo por pequenos produtores e o beneficiamento de madeira gerada por esses resíduos, a partir da secagem e estabilização da massa seca, moendo, separando a fibra e catalisando com resina.

Reis et al. (2002) propõem a criação de briquetes energéticos a partir da biomassa do açaí, retirando o excesso de umidade e secando a altas temperaturas, para, em seguida, submeter ao processo de briquetagem, elevando o material a altas pressões. Ainda sobre geração de energia, Carneiro et al. (2013) discutem a viabilidade da queima dos caroços para a geração de energia em indústrias locais no município de Castanhal-PA como forma de energia alternativa às tradicionais.

Fernandes et al. (2011) estudam a satisfação da adição do caroço torrado e transformado em bebidas à base de café, testando sua relevância no meio químico e a possível aceitação do produto pelo consumidor. Silveira (2012) trata do processo de criação de plástico através do aproveitamento dos RPPA, que podem ser utilizados em diversos ramos da indústria, dentre eles no ramo de biomateriais, tais como próteses utilizadas em seres humanos.

O estudo dos resídios gerados pelo açaí se faz importante, então, pela necessidade em se entender o impacto ambiental que estes resíduos são capazes de gerar e pelo potencial de inserção de mercado deste material, que pode ser reutilizado em diversas indústrias dos mais variados tipos e mercados.

2.2 Modelagem de Cadeia de Suprimentos

Segundo SOBEPRO (2017), a Pesquisa Operacional pode ser definida como "área de conhecimento que estuda, desenvolve e aplica métodos analíticos avançados para auxiliar na tomada de melhores decisões nas mais diversas áres de atuação humana". A modelagem matemática de problemas é uma das etapas da Pesquisa Operacional, e abrange várias áreas, tais como o Planejamento e Controle da Produção, Logística, Gestão da Qualidade, Gestão da Cadeia de Suprimentos, dentre outros.

Em gestão da cadeia de suprimentos, diversos trabalhos utilizando modelagem em pesquisa operacional foram desenvolvidos, ressaltando a importância da pesquisa operacional para essa área. Rivera e Ertel (2009) aprofundam o estudo sobre o fim do ciclo de vida de veículos no México, descrevendo as características da cadeia reversa e utilizando um modelo adaptado de localização de instalações sem capacidade para a determinação dos melhores locais de instalação para desmonte e redistribuição das peças aproveitáveis

dos veículos.

Alumur et al. (2012) citam a complexidade de redes de logística reversa em relação à determinação de locais e capacidades ideais dos centros de recolhimento, inspeção, instalações de remanufatura e usinas de reciclagem. Diante disso, propõem um modelo de maximização de lucro, baseado em programação linear inteira mista flexível que pode ser aplicado em diversos tipos de situações. Neste trabalho, utilizam o modelo adaptado para uma rede logística de máquinas de lavar e secar roupas na Alemanha.

No trabalho desenvolvido por Yu e Solvang (2017), os autores utilizam um modelo de programação com restrição de carbono para o projeto de logística reversa sustentável sob incerteza. O objetivo era criar multicenários a partir das incertezas na logística reversa que pudessem ajudar na tomada de decisões a respeito do fim de vida e/ou fim de uso de determinados produtos.

Cannella, Bruccoleri e Framinan (2016) analisam a dinâmica de inventário e fluxo de pedidos em cadeias de fornecimento de ciclo fechado. Nesse tipo de cadeia de suprimento, o fluxo reverso de materiais para reciclagem complica a forma de gerenciamento dos estoques. Para resolver o problema, Cannella, Bruccoleri e Framinan (2016) adotam uma modelagem matemática de diferenciação para gerar resultados a serem analisados e criarem relatórios gerenciais para o problema.

Min e Ko (2008) pontuam que a logística reversa tem sido um custo inevitável aos processos produtivos com a crescente preocupação com o meio ambiente. O problema abordado é o de localização de instalações de reparo, onde produtos devolvidos de clientes, finais e varejistas são inspecionados, reparados e recondicionados para redistribuição. O modelo proposto foi adaptado e validado para um exemplo ilustrativo, de forma a resultar em geração de valor no processo e auxiliar em respostas gerenciais.

Solemani e Govindan (2014) utilizam um processo estocástico de dois estágios, programado a fim de projetar e planejar uma rede reversa de cadeia de suprimentos, especificando um valor condicional de risco como avaliador de risco. Primeiro, considerando valores de retorno e preços de um segundo produto como parâmetros estocásticos. A partir daí, o ponto ótimo é alcançado em um estágio estocástico de duas fases. Para a aplicação prática, utilizaram exemplos numéricos apropriados para a comparação da abordagem clássica perante a abordagem proposta. Ao fim, discutiu-se a eficácia da incorporação de uma medida de risco em um modelo estocástico de dois estágios.

Rahimi e Ghezavati (2018) trabalham a gestão de resíduos na construção e demolição, ligados ao governo e ao setor privado. Uma modelagem multi-objetivo e multi-período foi adotada para planejar uma rede de logística reversa sob incerteza para reciclagem de resíduos de construção e demolição, com o objetivo de maximizar lucros e minimizar efeitos ambientais.

Alshamsi e Diabat (2017) utilizam uma modelagem de Programação Linear Inteira Mista com o objetivo de determinar a localização ideal e a capacidade de nós da rede de logística reversa de eletrodomésticos no oriente médio, abrangendo 68 cidades da região, levando em consideração um número muito alto de variáveis e restrições. Para mitigar o problema, a abordagem heurística baseada em algoritmos genéticos (GA) foi utilizada.

Alguns autores brasileiros também utilizam de modelos de programação linear para solucionar problemas na Gestão da Cadeia de Suprimentos. Coelho e Matheus (2017) utilizam um problema de programação inteira misto para determinar a localização de instalações capacitadas de remanufatura. Já Govindan e Bouzon (2018) apresentam uma estrutura multi-perspectiva para logística reversa utilizando a teoria dos stakeholders, fazendo uma profunda revisão de literatura sobre o caso em questão para poder entender as necessidades de cada um dos interessados na rede reversa.

2.3 Modelo aplicável

O modelo de Apaiah e Hendrix (2005) foi inicialmente desenvolvido para o design de uma cadeia de suprimentos com o objetivo de fabricações de alimentos proteicos à base de ervilhas com o mínimo custo possível. Os autores citam o forte impacto da produção de alimentos no meio ambiente como justificativa para o desenvolvimento do trabalho. Os alimentos proteicos à base de ervilhas são substitutos da carne em dietas onde há a restrição do consumo de proteína animal.

O estudo busca, então, criar uma rede de entrega e distribuição das ervilhas a partir de quatro países (Canadá, Ucrânia, França e Holanda), sendo transportados em diversos modais (marítimo, ferroviário, rodoviário ou barcaças) e tem como o objetivo transportar com o mínimo custo toda a produção necessária para a Holanda, de forma que atenda a demanda existente no país para a produção e transporte com o mínimo custo.

Apaiah e Hendrix (2005) propõem o seguinte problema para a resolução do transporte e produção da ervilha:

• Elementos:

```
pontos de produção primária de ervilhas (i);
pontos de produção dos alimentos proteicos à base de ervilha (j);
pontos de produção de ervilhas (k);
modais (n);
```

• Conjuntos:

Conjunto de pontos de produção primária de ervilhas (I);

Conjunto de pontos de produção dos alimentos proteicos à base de ervilha (J);

Conjunto de pontos de produção de ervilhas (K);

Conjunto de modais (N);

• Parâmetros:

 wpc_i : custo de ervilha seca na localização $i \in I$ (Euros/ton);

 $tcdp_{ijn}$: custo de transporte da ervilha seca de $i \in I$ para a facilidade $j \in J$ pelo modal de transporte $n \in N$ (Euros/ton);

 ipc_i : custo da ervilha seca na facilidade $j \in J$ (Euros/ton);

 $tcpp_{jkn}$: custo de transporte da proteína concentrada da facilidade $j \in J$ para a facilidade $k \in K$ via modal de transporte $n \in N$ (Euros/ton);

 ppc_k : custo de produção na facilidade $k \in K$ (Euros/ton);

stpt: amido por tonelada de ervilha descascada;

npfp: proteína de ervilha por tonelada;

ppdp: proteína de ervilha por tonelada seca transportada;

pwp: porcentagem de ervilha seca pelo total de ervilha produzida;

Variáveis:

 PP_i : quantidade de ervilhas produzidas primariamente na localização $i \in I$;

 TPI_{ijn} : quantidade de ervilhas secas transportadas da localização $i \in I$ para a facilidade $j \in J$ pelo modal $n \in N$;

 ING_j : quantidade de proteína concentrada de ervilha produzida na facilidade $j \in J$;

 TIP_{jkn} : quantidade de proteína concentrada transportada da facilidade $j \in P$ para a facilidade $k \in K$ pelo modal $n \in N$;

 NPF_k : quantidade de produto final produzida na facilidade $k \in K$;

 SA_j : quantidade de amido produzido na facilidade $j \in J$;

Formulação tradicional:

$$\min \sum_{i \in I} wpc_i * PP_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} tcdp_{ijn} * TPI_{ijn} + \sum_{j \in J} ipc_j * ING_j$$

$$+ \sum_{j \in I} \sum_{k \in K} \sum_{n \in N} tcpp_{jkn} * TIP_{jkn} + \sum_{k \in K} ppc_k * NPF_k - \sum_{j \in J} ss_j * SA_j$$

$$(2.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{k \in K} NPF_k = demand \tag{2.2}$$

$$\sum_{k \in K} NPF_k = demand$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{n \in N} TIP_{jkn} = npfp * NPF_k \quad \forall_{k \in K}$$
(2.3)

$$\sum_{k \in K} \sum_{n \in N} TIP_{jkn} \le ING_j \quad \forall_{j \in J}$$
 (2.4)

$$\sum_{k \in K} \sum_{n \in N} TIP_{jkn} \le ING_j \quad \forall_{j \in J}$$

$$ppdp * \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} TIP_{ijn} \ge ING_j \quad \forall_{j \in J}$$

$$(2.4)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{n \in N} TIP_{jkn} \le pwp * PP_i \quad \forall_{i \in I}$$
(2.6)

$$SA_j = stpt * \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} TPI_{ijn} \quad \forall_{j \in J}$$
 (2.7)

$$PP_i, TPI_{ijn}, ING_j, TIP_{jkn}, NPF_k, SA_j \in \mathbb{R}^+$$

$$(2.8)$$

- Objetivo: Minimizar a soma dos custos de produção e transporte Eq.(2.1)
- Restrições:
 - 1. A restrição (2.2) indica que o fluxo em toda a cadeia é impulsionado pela demanda. A quantidade de produtos finais produzidos em todos os locais deve ser igual à demanda.
 - 2. A restrição (2.3) indica que a quantidade de proteína de ervilha transportada de todas as instalações $j \in J$ para a instalação $k \in K$ por todos os modos de transporte é igual à quantidade de concentrado de proteína de ervilha no produto final
 - 3. Na restrição (2.4), a quantidade de proteína de ervilha transportada de cada facilidade $j \in J$ para todos os locais $k \in K$ não pode exceder a quantidade de concentrado produzido na localização $j \in J$
 - 4. Na restrição (2.5) a quantidade de proteína de ervilha produzida na instalação $j \in J$ não pode exceder a quantidade de proteína contida na ervilhas transportadas de todos os locais para a instalação $j \in J$ por todos meios de transporte.
 - 5. A restrição (2.6) indica que a quantidade de ervilha seca transportada de todos os locais $i \in I$ para facilidade $j \in J$ não pode exceder a quantidade de ervilhas cultivadas na localização $i \in I$ menos as perdas de colheita e refugos (expressos como uma porcentagem de ervilhas cultivadas).
 - 6. Na restrição (2.7) a quantidade de amido produzida como subproduto em cada instalação $j \in J$ é igual à porcentagem de amido as ervilhas secas transportadas de todos os locais para a localização $j \in J$ por todos os modos de transporte.

7. A restrição (2.8) trata do domínio de variáveis.

A partir da formulação, Apaiah e Hendrix (2005) criaram dois cenários, um de rede não capacitada e outro de rede capacitada. No cenário de rede não capacitada, somente na Ucrânia houve produção de ervilhas, bem como a transformação em proteína, ambas transportadas para a Holanda para a produção do produto final via caminhões, com custo final de 216 euros por tonelada, como mostra a Figura 6.



Figura 6 – Rede não capacitada de transporte. Fonte: Apaiah e Hendrix (2005)

Já na rede capacitada de transporte, ao custo de 273 euros por tonelada, existe produção de ervilhas em todos os países, dos quais três transportam a mercadoria através de caminhões e um através do mar (dado que só é possível utilizar este modal do Canadá para a Europa neste transporte). A produção da proteína da ervilha se mantém concentrada na Ucrânia, que transporta a proteína para a Holanda através de caminhões

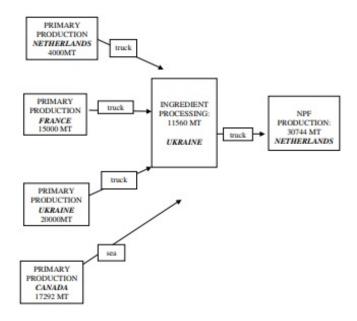


Figura 7 – Rede capacitada de transporte. Fonte: Apaiah e Hendrix (2005)

O modelo apresentado no trabalho de Apaiah e Hendrix (2005) se assemelha ao problema desenvolvido neste trabalho. No lugar das ervilhas, engloba-se o processo do açaí, que tem sua polpa retirada, sobrando os resíduos, aqui comparados com a proteína da ervilha, que tem de ser distribuídos para processadores do material que irão utilizá-lo nas mais diversas aplicações.

3 Metodologia de Pesquisa

A metodologia utilizada é baseada em uma pesquisa empírica normativa quantitativa, definida por Morabito e Pureza (2012) como pesquisa que se baseia em modelos que prescrevem decisões para um problema, podendo ser baseada em modelos de otimização. Uma pesquisa empírica normativa quantitativa tem como principal objetivo assegurar relação entre as observações do modelo com a realidade dos cenários, ou seja, relacionar corretamente os fatos acontecidos. Ainda de acordo com Morabito e Pureza (2012), a pesquisa é dividida em 5 fases: Definição do problema, construção do modelo, solução do modelo, validação do problema e implementação da solução

3.1 Definição do problema

Segundo Morabito e Pureza (2012), definir o problema é definir seu escopo, quais decisões tomar sobre este problema, seus objetivos e o modelo conceitual.

Na etapa de definição do problema, foi definido que o problema central seria encontrar a melhor forma de destinar os resíduos da produção da polpa do açaí para potenciais indústrias e entender o quanto de resíduo é desperdiçado no processo de produção da polpa do açaí. Diante disso, é necessário se entender em quais pontos do Pará se concentram as cidades produtoras, bem como a forma de escoar essa produção e estes resíduos para um reaproveitamente eficiente.

3.2 Construção do modelo

A fase de construção do modelo, segundo Morabito e Pureza (2012), compreende em desenvolver um modelo matemático mais adaptável ao problema definido no primeiro passo bem como os dados recolhidos neste.

Neste caso, o modelo proposto por Apaiah e Hendrix (2005) foi adaptado às necessidades da rede criada para que melhor se adaptasse a realidade do problema citado.

3.3 Solução do modelo

Nesta fase, Morabito e Pureza (2012), indicam a solução através de algoritmos para a resolução do modelo. Neste trabalho, foi utilizado o solver de otimização CPLEX e a linguagem AMPL para a solução do problema apresentado. Para isso, foram criados conjuntos de cenários com dados disponíveis na literatura base e complementar e nos

principais órgãos divulgadores de dados no Brasil (IBGE, SINFRECA, Associação de Produtores e Exportadores, dentre outros).

3.4 Validação do problema

Para Morabito e Pureza (2012), esta fase significa verificar se o modelo proposto, bem como sua resolução, se adequa à realidade da situação, em relação a sua aplicação prática. Quanto mais precisa for a resposta, melhor a qualidade de resolução da mesma.

3.5 Implementação da solução

De acordo com Morabito e Pureza (2012), esta etapa significa traduzir o modelo para o mundo real, tomando decisões palpáveis a partir dos resultados gerados. Esta etapa não será aplicada no trabalho, pois não há projetos conjuntos com o governo ou organizações para sua aplicação.

4 Modelagem da Cadeia Reversa do Açaí

Em relação ao modelo proposto por Apaiah e Hendrix (2005), algumas modificações tiveram de ser feitas para a adaptação da cadeia proposta à realidade estudada.

O principal motivo para modelar uma cadeia de suprimentos é a representação integrada dos seus elos, de forma a mapear os fluxos, os custos de transporte e de produção. Por se tratar de uma cadeia reversa, que ainda se encontra em estruturação, foram considerados quatro níveis de integração: os locais de produção do fruto de açaí, que geram o material de origem, tanto para a cadeia direta quanto para a cadeia reversa; os terminais concentradores, que se constituem no início da cadeia reversa, pela geração do RPPA, após o processamento dos frutos de açaí; fábricas de produtos da cadeia reversa e os pontos de destino final, que absorvem a demanda pelos produtos da cadeia reversa.

Em seguida, deve-se caracterizar os fluxos entre cada par de elos. Nesse caso, devido à grande extensão do estado do Pará e das diversas modalidades de transporte que podem estar disponíveis, optou-se pela consideração de um modelo de transporte multimodal, que pode gerar economias, principalmente quando os modais hidroviário e ferroviário puderem ser utilizados. Também é importante observar que o modelo é multiproduto, uma vez que diversos produtos são transportados ao longo da cadeia. Por exemplo, entre o primeiro e o segundo nível, tem-se o transporte do fruto de açaí, que faz parte tanto da cadeia direta quanto reversa. Porém, entre o segundo e o terceiro níveis, ocorre a circulação do RPPA, que pertence apenas à cadeia reversa. Integrando os últimos dois níveis, diversos produtos circulam ao mesmo tempo, e podem concorrer por capacidade de transporte, ter fretes integrados ou distintos, dependendo das requisições de transporte e dos locais de destino.

Essa flexibilidade de modelagem permite que novos produtos possam ser facilmente adicionados, assim como novas rotas e pontos de produção de RPPA, novas fábricas de produtos finais e novos mercados consumidores. Isso permite a análise de cenários alternativos e a comparação estratégicas de ações gerenciais que podem ser tomadas sobre essa cadeia. Por exemplo, é possível se adicionar um novo local para a venda de biomassa e comparar os custos dessa nova rota com as rotas atuais. Também é possível avaliar a expansão futura do mercado de MDF e verificar a criação de rotas conjuntas de transporte para os mesmos locais que já consomem biojóia, pelo valor ambiental associado a esses produtos no mercado consumidor.

No entanto, ao se considerar uma cadeia reversa, além dos propósitos de integração e redução de custos, é preciso considerar fatores secundários, como leis de incentivo e obrigatoriedade de disposição e reaproveitamento de resíduos, fatores ambientais e socioeconômicos envolvidos. Isso torna a abordagem mais complexa e possibilitou a criação de duas versões para o modelo, uma mais tradicional, em que se busca minimizar os custos de transporte e produção na cadeia reversa do açaí e outra, mais voltada às questões

ambientais, na qual o objetivo é maximizar o aproveitamento do RPPA, o que não só gera valor para a cadeia, mas também atende a critérios ambientais, pois busca minimizar os resíduos gerados pela cadeia direta.

4.1 Modelagem matemática da cadeia reversa do açaí

• Elementos:

```
cidades onde há maior produção de açaí no estado do Pará (i); terminais concentradores dos RPPAs (j); fábricas de transformação dos RPPAs em produtos finais (k); modais (n); produtos finais (p); localidades de demanda dos produtos finais (l);
```

• Conjuntos:

```
Conjunto de cidades onde há maior produção de açaí no estado do Pará (I);
```

Conjunto de terminais concentradores dos RPPAs (J);

Conjunto de fábricas de transformação dos RPPAs em produtos finais (K);

Conjunto de modais (N);

Conjunto de produtos finais (P);

Conjunto de localidades de demanda dos produtos finais (L);

• Parâmetros:

```
tcdp_{ijn}: custo de transporte do RPPA a partir do ponto de produção de açaí i \in I para o terminal concentrador j \in J pelo modal de transporte n \in N (Reais/ton);
```

 ipc_j : custo do RPPA no terminal concentrador $j \in J$ (Reais/ton);

 $tcpp_{jkn}$: custo de transporte do RPPA do terminal concentrador $j \in J$ para a fábrica $k \in K$ via modal de transporte $n \in N$ (Reais/ton);

 ppc_k : custo de produção na fábrica $k \in K$ (Reais/ton);

 $npfp_k$: porcentagem de RPPA utilizável na produção na fábrica $k \in K$;

ppdp: porcentagem de RPPA em relação ao fruto;

 PP_i : quantidade do fruto de açaí produzida por cada cidade $i \in I$;

 $dFab_k$: quantidade de matéria prima, o RPPA, requerida na fábrica $k \in K$;

 $dMin_{pl}$: demanda mínima do produto $p \in P$ nos pontos de demanda $l \in L$;

 tpf_{pkln} : custo de transporte do produto $p \in P$ da fábrica $k \in K$ pelo modal $n \in N$ (Reais/ton);

 cor_{pk} : parâmetro binário que representa a relação de qual produto $p \in P$ pode ser produzido em qual fábrica $k \in K$;

• Variáveis:

 TPI_{ijn} : quantidade de RPPA transportado da localização $i \in I$ para o terminal concentrador $j \in J$ pelo modal $n \in N$;

 ING_j : quantidade de RPPA armazenado no terminal concetrador $j \in J$;

 TIP_{jkn} : quantidade de RPPA transportado do terminal concentrador $j \in P$ para a fábrica $k \in K$ pelo modal $n \in N$;

 NPF_k : quantidade de RPPA entregue na fábrica $k \in K$;

 TF_{pkln} : quantidade de produto $p \in P$ transportado da fábrica $k \in K$ até o ponto de demanda $l \in L$ pelo modal $n \in N$;

 DF_p : quantidade do produto $p \in P$ no ponto de demanda $l \in L$;

Formulação:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} tcdp_{ijn} * TPI_{ijn} + \sum_{j \in J} ipc_j * ING_j + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{n \in N} tcpp_{jkn} * TIP_{jkn}$$

$$+ \sum_{k \in K} ppc_k * NPF_k + \sum_{p \in P} \sum_{k} \sum_{l \in L} \sum_{n \in N} tpf_{pkln} * TF_{pkln}$$

$$(4.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in J} \sum_{ninN} TPI_{ijn} = ppdp * PP_i \quad \forall_{i \in I}$$

$$\tag{4.2}$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{ninN} TPI_{ijn} = ING_j \quad \forall_{j \in J}$$
(4.3)

$$\sum_{k \in K} \sum_{ninN} TIP_{jkn} \le ING_j \quad \forall_{j \in J}$$

$$(4.4)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{n \in N} TIP_{jkn} \ge NPF_k \quad \forall_{k \in K}$$

$$\tag{4.5}$$

$$npfp_k * NPF_k \ge dFab_k \quad \forall_{k \in K}$$
 (4.6)

$$\sum_{l \in L} \sum_{n \in N} TF_{pkln} \le cor_{pk} * NPF_k \quad \forall_{p \in P, k \in K}$$

$$\tag{4.7}$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{n \in N} TF_{pkln} = DF_{pl} \quad \forall_{p \in P, l \in L}$$

$$\tag{4.8}$$

$$DF_{pl} \ge dMin_{pl} \quad \forall_{p \in P, l \in L}$$
 (4.9)

$$PP_i, TPI_{ijn}, ING_j, TIP_{jkn}, NPF_k, TF_{pkln}, DF_{pl} \in \mathbb{R}^+$$

$$(4.10)$$

• Objetivo:

Minimizar a soma dos custos de produção e transporte - Eq.(4.1)

• Restrições:

- 1. A restrição (4.2) indica que quantidade de RPPA transportada de todas as cidades $i \in I$ para o terminal concentrador $j \in J$ por todos os modos de transporte $n \in N$ é igual à quantidade de RPPA gerada em cada uma das cidades $i \in I$.
- 2. Na restrição (4.3), a quantidade de RPPA transportada de cada cidade $i \in I$ para todos os terminais concentradores $j \in J$ por todos os modais de transporte $n \in N$ tem de ser igual a quantidade de RPPA no terminal concentrador $j \in J$.
- 3. Na restrição (4.4), a quantidade de RPPA transportada do terminal concentrador $j \in J$ até a fábrica $k \in K$ por todos os modais de transporte $n \in N$ não pode exceder a quantidade de RPPA no terminal concentrador $j \in J$.
- 4. A restrição (4.5) indica que quantidade de RPPA transportada do terminal concentrador $j \in J$ até a fábrica $k \in K$ por todos os modais de transporte $n \in N$ tem de ser maior ou igual a quantidade de RPPA demandado em cada fábrica $k \in K$.
- 5. A restrição (4.6) indica que a quantidade produzida, de acordo com a porcentagem de aproveitamento do RPPA em cada fábrica $k \in K$ tem de ser maior ou igual a demanda de fabricação de cada fábrica $k \in K$.

- 6. Na restrição (4.7), a quantidade de produto $p \in P$ transportada de cada fábrica $k \in K$ até o ponto de demanda $l \in L$ pelo modal $n \in N$ não pode exceder a capacidade de produção de cada fábrica $k \in K$ que é capaz de produzir o determinado produto $p \in P$
- 7. Na restrição (4.8), a quantidade de produto $p \in P$ transportada de cada fábrica $k \in K$ até o ponto de demanda $l \in L$ pelo modal $n \in N$ tem de ser igual a quantidade de produtos $p \in P$ necessários nos pontos de demanda $l \in L$.
- 8. A restrição (4.9) indica que a quantidade de produto $p \in P$ no ponto de demanda $l \in L$ tem de ser maior ou igual à demanda do produto $p \in P$ no ponto de demanda $l \in L$.
- 9. A restrição (4.10) trata do domínio de variáveis Ineq.

Uma formulação alternativa também é gerada para o problema de maximização, com a adição de um novo parâmetro e uma nova restrição.

• Parâmetro:

 $dMax_k$: Demanda máxima de cada fábrica $k \in K$

Formulação:

$$\max \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} DF_{pl}$$

$$NPF_k \le dMax_k \quad \forall_{k \in K}$$

$$(4.12)$$

$$NPF_k \le dMax_k \quad \forall_{k \in K}$$
 (4.13)

• Objetivo:

Maximizar a produção final - Eq.(4.12)

• Restrições:

1. A restrição (4.13) indica que a produção em cada uma das fábricas $k \in K$ não pode ser superior à demanda $k \in K$ disponível.

Comparações entre o modelo original e o adaptado 4.2

O modelo original se inicia na produção de ervilha, que é transportada até a fabrica de processamento da proteína da ervilha que é tranportada, por fim, à fabricas que utilizam essa proteína para a produção dos mais diversos produtos, os quais não são contemplados no modelo original, mostrando apenas a demanda na fábrica de processamento final. O esquema de atendimento do modelo original pode ser ilustrado na Figura 8.



Figura 8 – Fluxograma do modelo de Apaiah e Hendrix (2005). Fonte: o autor

Já no modelo adaptado, são considerados quatro níveis para a integração da cadeia reversa do açaí. Considera-se um fluxo inicial do fruto de açaí, dos locais de produção, para unidades concentradoras, que processam o fruto e produzem a polpa, que é direcionada para a cadeia direta, além do RPPA, que é a matéria prima para os diversos produtos que compõem a cadeia reversa. Também se considerou um fluxo de produtos finais, algora diferenciado, para um conjuntos de possíveis destinos.

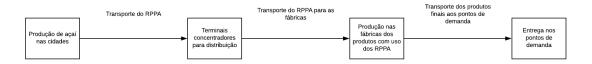


Figura 9 – Fluxograma do modelo adaptado. Fonte: o autor

O problema original possui 6 variáveis, das quais 4 foram reaproveitadas no modelo adaptado (excluindo a variável de produção de amido) e acrescentando outras duas variáveis quem contemplarão o transporte e a entrega do produto final nos pontos de demanda.

Em relação aos parâmetros, o problema original possui 9 parâmetros, dois quais 6 foram aproveitados no modelo adaptado, sendo um deles indexado modificado de parâmetro unidimensional para vetor indexado no vetor de fábricas $k \in K$ para mensurar a porcentagem de utilização dos RPPA na produção do produto final. Os três parâmetros excluídos dizem respeito ao custo de produção do açaí (não contemplado na cadeia reversa), e outros dois ao custo do amido.

Em relação à função objetivo, o problema original possuia apenas uma relacionada à minimização de custos de transporte e produção. Já o problema adaptado mantém uma função objetivo de minimização de custos de transporte e produção, excluindo o custo de produção da polpa do açaí e adicionando o custo de transporte do produto final. Além disso, para outro cenário, criou-se uma função objetivo de maximização da produção de produtos finais a fim de utilizar o máximo possível de RPPA, evitando o desperdício.

A mudança mais significativa fica por conta das restrições. O problema original tem 7 restrições, das quais apenas uma foi reutilizada no modelo adaptado, que conta com 9 restrições no modelo de minimização e 10 restrições no modelo de maximização. Das 6 restrições retiradas, utilizou-se a ideia da formulação para a criação de outras restrições, além do aumento no tamanho da restrição do domínio de variáveis.

Os dois modelos, o original e o adaptado para a cadeia reversa do açaí são lineares, não possuindo variáveis binárias. Isso garante uma baixa complexidade para a resolução dos modelos, o que se torna uma vantagem no contexto da cadeia reversa do açaí, uma vez que diversos cenários podem ser rapidadmente testados, independente do número de pontos utilizados para modelar a cadeia e da quantidade simultânea de produtos considerados.

5 Coleta e Análise de Dados

5.1 Dados da cadeia reversa do açaí

Por ser uma aplicação recente, os dados relativos ao aproveitamento do RPPA passaram por análise e tratamento minucioso de forma a ilustrar, mais aproximadamente possível, a realidade. Diversos dados foram retirados de órgãos governamentais e trabalhos de determinada relevância na área.

De início, foi necessário o levantamento de dados da produção anual do açaí no estado do Pará, mostrado no trabalho de Tavares e Homma (2015). A Tabela 1 apresenta as maiores cidades produtoras de Açaí no Pará, totalizando 19 cidades. A maioria destas cidades tem a extração do açaí como principal fonte de renda, tornando a atividade ainda mais importante para as populações locais.

Tabela 1 – Quantidade de açaí produzida no Pará por cidade. Fonte: Tavares e Homma (2015)

dução (ton/ano)
04.300
00.800
5.600
9.900
3.840
8.000
4.720
4.370
8.700
8.300
6.290
.400
.500
.000
.720
.400
.000
.400
.375

Belém, capital do Pará, e as outras 4 cidades maiores produtoras de açaí (Igarapé-Miri, Cametá, Bujaru e Limoeiro do Ajurú) foram escolhidas como os terminais concentradores, dada a sua capacidade maior de armazenamento e escoamento dos RPPA para as

fábricas concentradas no Norte (Belém - PA) e Sudeste (São Paulo - SP e Viçosa - MG) do Brasil.

Em relação às demandas, seis produtos foram idenficados como produtos de demanda relevante como o uso dos RPPA, são eles: biomassa (REIS et al., 2002), biojóias (SEBRAE, 2014), café (MOL et al., 2018), MDF (BACHA, 2011), elemento filtrante (SOUSA et al., 2017) e carvão vegetal (SOUSA et al., 2017). Cada um destes produtos possuem suas versões clássicas, como, por exemplo, a biomassa de cana de açúcar, biojóias com sementes de outros frutos, café do grão original, MDF e carvão vegetal produzidos através do eucalipto. A utilização de RPPA como matéria prima destes produtos ainda é muito recente e novas pesquisas tem sido desenvolvidas no sentido de melhorar ainda mais o processo produtivo e de aproveitamento do RPPA na produção destes e de outros produtos potenciais, como plástico, próteses, que não foram abordados neste trabalho por terem menos relevância, por hora, no mercado do RPPA.

As demandas correspondentes de cada produto, bem como a quantidade de RPPA necessária para sua fabricação estão apresentadas na Tabela 2. A Figura 10 ilustra todo o fluxo possível de transporte do RPPA, desde a produção nas 19 cidades maiores produtoras do fruto, passando pelos terminais concentradores onde haverá a transformação do fruto e do caroço, a entrega nas fábricas, e, finalmente aos pontos de atendimento de demanda.

Tabela 2 – Quantidade de produtos gerados com RPPA e taxa de utilização do RPPA em cada produto. Fonte: o autor

Produto	Produção (ton/ano)	Utilização do RPPA (%)
Biomassa	200	78%
Biojóias	13,65	90%
Café	1.000	90%
MDF	7.800	87,7%
Elemento Filtrante	175	48%
Carvão	600	48%

Em relação à custos de transporte, através de estimativas feitas por TRC (2018), foi necessário estimar o custo de transporte do RPPA dos pontos de produção para os terminais concentradores, de transporte dos terminais concentradores para as fábricas e das fábricas para os pontos de demanda. Em relação ao transporte terrestre, foi considerado um caminhão com capacidade de 14 toneladas com custo de R\$2,35 por quilômetro percorrido. Para o cálculo geral, foram medidas as distâncias entre as cidades através do Software Google Earth. Em relação ao transporte hidroviário, foi considerado o preço de R\$ 195 por tonelada transportada. Nota-se que o modelo não abrange custos fixos, logo o valor dos custos totais tem de ser mensurado juntamente aos custos variáveis.

Outros custos também devem ser levados em consideração. Um custo de R\$78,94 é necessário para a manutenção de uma tonelada de RPPA nos terminais concentradores. O

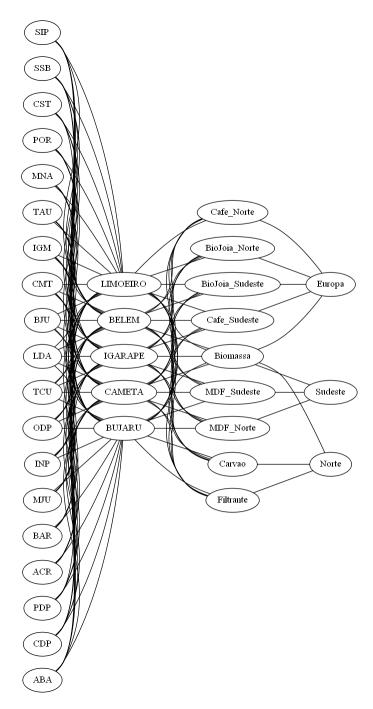


Figura 10 – Possíveis fluxos de transporte de toda a rede da cadeia reversa do açaí. Fonte: o autor

custo de produção de cada produto nas fábricas, bem como a localização das fábricas é apresentado na Tabela 3.

Os pontos de demanda atendidos por cada produtos são indicados na Tabela 4. O transporte para a Europa é feito somente pelo modal hidroviário, enquanto o transporte no Norte e no sudeste é feito somente pelo modal rodoviário.

Tabela 3 – Custo de produção de cada produto a partir do RPPA. Fonte: o autor

Produto	Custo de produção (\$/ton)	Locais de Produção
Biomassa	R\$ 850	Norte
Biojóias	R\$ 350	Norte e Sudeste
Café	R\$ 653,53	Norte e Sudesde
MDF	R\$ 1553,33	Norte e Sudesde
Elemento Filtrante	R\$ 154,2	Norte
Carvão	R\$ 153,4	Norte

Tabela4 – Pontos de atendimento de demanda. Fonte: o autor

Produto	Ponto de demanda
Biomassa	Europa, Norte e Sudeste
Biojóias	Europa
Café	Europa
MDF	Sudesde
Elemento Filtrante	Norte
Carvão	Norte

6 Resultados computacionais

Diante das informações geradas pela coleta e análise de dados, bem como da adaptação do modelo proposto por Apaiah e Hendrix (2005), três cenários foram gerados para estudo:

- Cenário base: Minimização de custos de produção e transporte, onde há a produção total indicada por Tavares e Homma (2015).
- Cenário alternativo Minimização: Minimização de custos de produção e transporte, onde se produz somente o resíduo necessário para atender a demanda final.
- Cenário alternativo Maximização: Máximização da produção final, onde se produz o máximo possível atendendo a uma demanda sem restrições.

Os resultados foram obtidos através de testes realizados com o solver de otimização CPLEX, na linguagem AMPL, gerados em um computador da marca DELL, com memória RAM de 4GB, disco rígido de 1TB e processador Intel Core i5, onde os testes não demoraram mais que 1 segundo para serem processados.

6.1 Cenário base

O cenário base buscou retratar de forma mais concreta possível, a realidade atual da cadeia reversa do açaí no estado do Pará.

Os resultados do cenário base, a partir da produção total apresentada por Tavares e Homma (2015) retornam um custo total de R\$73.503.851,35 para a cadeia reversa do açaí, considerando os custos de transporte e processamento em todos os níveis da cadeia. Inicialmente, foram produzidas 739.615 toneladas de açaí, gerando, aproximadamente, 591.692 toneladas de RPPA.

Neste cenário é importante se fazer a análise do quanto de RPPA deixa de ser aproveitado pela cadeia reversa, ou seja, permanecendo como rejeito industrial da cadeia direta e requerendo algum tipo de disposição final que atenda à legislação vigente. No transporte inicial, toda a produção de frutos de açaí é levada das cidades extratoras para os terminais concentradores. A Tabela 5 apresenta a quantidade de açaí transportada para cada um dos terminais concentradores.

A partir de cada terminal concentrador, observa-se que grande parte do RPPA produzido pela cadeia direta é desperdiçado em seu potencial, pois a quantidade transportada para as fábricas atende apenas às demandas por matéria prima dos produtos finais da cadeia reversa. A Tabela 6 apresenta os totais retidos em cada terminal concentrador.

Terminal concentrador	Quantidade (ton/ano)
Belém	9.120
Igarapé-Miri	328.224
Cametá	122.352
Bujaru	94.700
Limoeiro do Ajurú	37.296

Tabela 5 – Quantidade de açaí em cada terminal concentrador. Fonte: o autor

Ao se analisar a tabela, é possível se observar que o terminal com menor concentração de RPPA, que é Belém, com 9.120 toneladas, transporta todo o RPPA, enquanto outros dois, de Bujaru, com 74.540 toneladas e Limoeiro do Ajuru, com 37.296 toneladas, não transportam nenhuma quantidade de RPPA. Esse RPPA não transportado para as fábricas mostra a quantidade de rejeito industrial que é descartada, muitas vezes de forma irregular, provocando danos ambientais, enquanto poderia ser transformado em fonte de renda e emprego para a população local. Já os terminais de maior concentração, que são Igarapé-Miri, com 328.224 toneladas e Cametá, com 122.352 toneladas, transportam apenas 0,5% e 5%, respectivamente, do montante total disponível de RPPA.

Esse resultado demonstra um não aproveitamento econômico de 554.166 toneladas ao ano de RPPA, um montante correspondente à 93,66% de todo o RPPA gerado. Isso mostra que, embora diversas ações estejam sendo tomadas para incentivar o crescimento da cadeia reversa do açaí, o seu grau de desenvolvimento atual ainda é muito incipiente.

Tabela 6 – Quantidade de RPPA sem aproveitamento em cada terminal concentrador. Fonte: o autor

Terminal concentrador	Desperdício (ton/ano)	Desperdício (%/ano)
Belém	0	0%
Igarapé-Miri	326.569	99.5%
Cametá	115.761	95%
Bujaru	74.540	100%
Limoeiro do Ajurú	37.296	100%

As fábricas também apresentam desperdícios consideráveis em relação à ociosidade de suas capacidades instaladas, como mostra a Tabela 7, em que são analisadas as quantidades demandadas de produtos finais, considerando apenas o consumo do RPPA nestes produtos, e a quantidade produzida.

Diante disso, mais 7.567 toneladas ao ano de RPPA são desperdiçadas, gerando um montante total de 561.733 toneladas ao ano de RPPA sem utilização, correspondendo à 98,29% de de rejeitos industrias não utilizados e gerados pela cadeia direta do açaí.

Fábrica	Produção (ton/ano)	Desperdício (%/ano)
Biomassa	500	42%
D	4.00	00000

100 Biojóia 86.35%67% Café 1.500 MDF 22%10.000 65%Filtrante 500 Carvão 50% 1200

Tabela 7 – Quantidade de RPPA desperdiçada no produto final. Fonte: o autor

A Figura 11 mostra o fluxo de transporte dos resíduos, desde a produção inicial, passando pelos terminais integradores e fábricas e terminando nos pontos de demanda. A Tabela 8 indica as legendas utilizadas na Figura 10 para representarem as cidades produtoras do fruto. As fábricas situadas na Região Norte ficam na cidade do Pará, ao passo que as fábricas de MDF e biojóias do Sudeste ficam na cidade de São Paulo - SP e a de café, em Viçosa - MG.

Tabela 8 – Legenda de identificação das cidades nas imagens. Fonte: o autor

Cidade	Legenda
Igarapé-Miri	IGM
Cametá	CMT
Bujaru	BUJ
Limoeiro do Ajurú	LDA
Tucuruí	TCI
Oeiras do Pará	ODP
Inhangapi	INP
Moju	MJU
Barcarena	BAR
Acará	ACR
Ponta de Pedras	PDP
Concórdia do Pará	CDP
Abaetetuba	ABA
Santa Izabel do Pará	SIP
São Sebastião da Boa Vista	SSB
Castanhal	CST
Portel	POR
Muaná	MNA
Tomé-Açu	TAU

Ao se analisar a Figura 10, é perceptível o nível de rejeito industrial gerado por essa cadeia e não aproveitado pela cadeia reversa, em que 6 cidades enviam todo seu material a dois terminais concentradores que não redistribuem material para fábricas, enquanto outros dois terminais concentradores transportam valores muito abaixo das suas

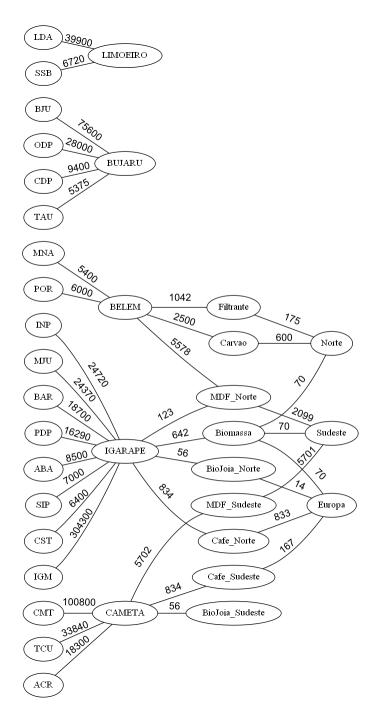


Figura 11 – Fluxo de transporte e transformação do RPPA para o cenário base. Fonte: o autor

capacidades. Somente o terminal de Belém tem um transporte eficiente, porém é o que menos recebe RPPA com uma quantidade bem abaixo se comparada às quantidades dos outros terminais concentradores. Em relação às fábricas, existe uma demanda de matéria-prima demasiadamente superior à quantidade necessária para atender as demandas finais, o que aumentam os custos na cadeia e geram ainda mais desperdícios dos RPPA.

6.2 Cenário alternativo: Minimização

Um outro cenário passível de análise é onde seria produzido somente o necessário para se suprir a demanda dos produtos finais, ou seja, que somente fossem retirados RPPA suficientes das cidades para a produção final. Para isso, há apenas uma pequena modificação no modelo, onde a produção inicial pode ser menor que o parâmetro que representa a produção real em cada cidade, diferentemente do cenário base, onde tem-se a produção exatamente igual à produção das cidades, de acordo com os dados de Tavares e Homma (2015), além da retirada da demanda de RPPA de cada fábrica.

Neste caso, a função objetivo retorna um valor de R\$17.388.151,50, uma diferença de R\$56.115.699,85 em relação ao cenário base, uma diminuição de 76,34% no custo total de transporte e produção. A Tabela 8 indica a quantidade necessária a ser produzida nas cidades para atender a demanda final.

Tabela 9 – Quantidade de açaí produzida por cidade para atender a demanda do cenário. Fonte: o autor

Cidade	Produção (ton/ano)
Igarapé-Miri	3.762
Cametá	0
Bujaru	11.118
Limoeiro do Ajurú	0
Tucuruí	0
Oeiras do Pará	0
Inhangapi	0
Moju	0
Barcarena	0
Acará	0
Ponta de Pedras	0
Concórdia do Pará	0
Abaetetuba	0
Santa Izabel do Pará	0
São Sebastião da Boa Vista	0
Castanhal	0
Portel	0
Muaná	0
Tomé-Açu	0

Nota-se que de 739.615 toneladas de açaí produzidas, apenas 14.880 (2,01%) são necessárias para atender à demanda final de produção, o que foi produzido em apenas 2 das cidades produtoras. Ao se transformar a produção em RPPA, aproximadamente 11.904 toneladas serão utilizadas de um montante total de 591.692 toneladas de RPPA.

Neste cenário, apenas 2 terminais concentradores são utilizados, os quais são os terminais que se encontram nas mesmas cidades produtoras (Igarapé-Mirim e Bujaru), de

onde sairão os RPPA para a produção nas fábricas.

Em relação à distribuição do RPPA dos terminais concentradores para as fábricas, o terminal de Bujaru irá transportar todo seu RPPA para a fábrica de MDF do Norte, que posteriormente irá distribuir o produto no Sudeste. O terminal concentrador de Igarapé-Mirim irá transportar o RPPA para a produção dos 5 produtos restantes (todos produzidos nas fábricas do Norte, não havendo produção em nenhuma fábrica do Sudeste) que serão distribuídos a partir das fábricas do Norte.

Ao fim, as fábricas só produzem o que é estritamente necessário para atender às demandas nos pontos finais, já que não há uma demanda pré-estabecida nas fábricas de produção, como no cenário base.

A Figura 12 retrata o cenário apontado no problema de minimização. Para efeitos de legenda, são utilizadas as informações da Tabela 8.

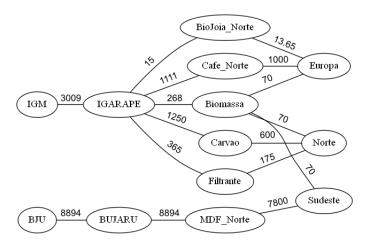


Figura 12 – Fluxo de transporte do RPPA para o cenário alternativo de minimização. Fonte: o autor

Neste cenário, somente houve produção em duas das dezenove cidades, com níveis baixos de produção considerando a capacidade produtiva destas cidades. O processamento nos terminais concentradores também foi bem abaixo da capacidade total, o que mostra que as demandas ainda são muito baixas para um aproveitamento geral do RPPA.

6.3 Cenário alternativo: Maximização

No cenário de maximização da produção final, a ideia é analisar o máximo da capacidade produtiva da cadeia. O modelo teve a adição de uma restrição, onde a produção final tem de obedecer um limite produtivo para cada produto, de forma que todos os produtos sejam produzidos. Para isso, as demandas máximas dos produtos foram divididas igualmente. A função objetivo retornou um total de produção estimado em 416.809,29 toneladas produzidas de produtos finais. O número corresponde à 70% da produção total

do RPPA, porém, o valor é pertinente para o uso do RPPA integral, já que alguns produtos, como o elemento filtrante e o carvão vegetal, utilizam menos de 50% do RPPA total.

A produção inicial foi exatamente igual à produção real, ao passo que todo o RPPA gerado foi transportado para a cidade de Belém, que transportou esse RPPA somente para as fábricas do Norte. A partir daí, as fábricas de biomassa, biojóias, café, mdf e carvão vegetal atendem a demanda máxima de 25.000 toneladas por ponto de demanda (Europa, Norte e Sudeste) enquanto o elemento filtrante exporta 25.000 unidades para a Europa, ao passo que produz 175 unidades a serem distribuídas no Norte e 16.667 ao Sudeste.

Este cenário serve para mostrar o tamanho da capacidade produtiva da cadeia reversa do Açaí. Ao se comparar a quantidade produzida de produtos finais deste cenário com o cenário base, é possível se observar uma diferença significativa, mostrando que existe um grande potencial produtivo do RPPA e que não tem uma grande utilização.

A Figura 13 ilustra a situação encontrada no cenário. Para efeitos de legenda, são utilizadas informações da Tabela 8.

Por não utilizar dos custos associados ao modelo na função objetivo, toda a produção foi escoada para somente um terminal concentrador, em Belém, e a partir de lá, escoada para as fábricas. Com capacidades produtivas limitadas por um parâmetro de produção máximo, o resultado gerado foi uma produção praticamente igual ao parâmetro de limitação máxima em todos os produtos, exceto no elemento filtrante, já que este utiliza menor quantidade do RPPA em sua produção (48%).

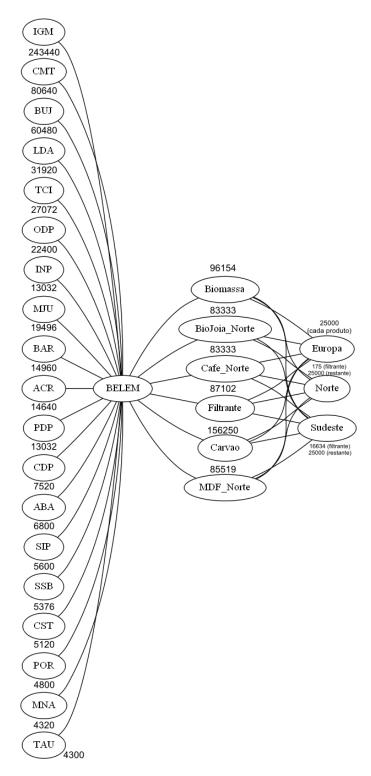


Figura 13 – Fluxo de transporte do RPPA para o cenário alternativo de maximização. Fonte: o autor

7 Considerações Finais

Ao fim deste trabalho, foi possível entender com clareza a importância de uma cadeia reversa de resíduos dentro de um contexto econômico e ambiental. O estudo da logística reversa tem tomado proporções cada vez mais significativas no mundo atual, dada a crescente preocupação com o meio ambiente. Nos dias atuais, empresas que não possuem políticas claras a respeito de formas de trabalho e de descarte de resíduos sustentáveis tendem a perder mercado.

Com a cadeia do açaí não é diferente, o fruto, que tem mais de 80% de resíduo gerado em sua produção, tem sido alvo de constantes estudos que demonstram um grande potencial produtivo do resíduo em diferentes áreas. Alguns estudos sobre a reutilização dos resíduos do açaí são recentes, mas já demonstram o tamanho potencial de sua utilização.

Porém, na prática, ainda há pouco sendo feito com estes resíduos, que, em sua maioria, são descartados na natureza sem um tratamento adequado. O desperdício de resíduo na cadeia é considerável, dado que mais de 500 mil toneladas de resíduos são geradas em um ano.

O modelo adaptado e desenvolvido foi capaz de responder de forma eficiente às perguntas geradas, tais como o quanto é utilizado e o quanto é desperdiçado, o potencial da cadeia, quanto seria necessário produzir de resíduo para atender às demandas atuais. Em um cenário realista, menos de 3% de todo o resíduo gerado tem aproveitamento, um número muito pequeno, dado o tamanho potencial do uso deste resíduo, que, no lugar de gerar custo de descarte, tais como incineração, descarte em lixões e possíveis multas por descarte incorreto na natureza, poderia gerar lucro se comercializado e potencializado dentro da produção dos mais diversos produtos.

Com este trabalho, foi possível, então, entender sobre a cadeia reversa do açaí como um todo, não analisando somente um produto específico ou uma cidade, mas sim toda a cadeia produtiva do estado do Pará, o que dá embasamento para entender o quão grande é o potencial desta cadeia e o quão pouco utilizada a mesma é. Este trabalho abre caminhos para outras discussões, tais como o aprimoramento do modelo que passe a abranger custos ambientais com o descarte dos produtos finais transformados, a adição de toda a cadeia do açaí no processo, contendo também os outros estados produtores, a criação e inserção de novos produtos na cadeia produtiva dos RPPA, dentre outros.

Em relação à modelagem, vale ressaltar que o uso de um modelo linear tem a vantagem de apresentar um baixo custo computacional para a sua resolução, o que facilita o seu uso em apliações práticas. No entanto, essa abordagem limita algumas características que podem ser consideradas, como poe exemplo, a consideração de custos para a ativação de novas rotas de transporte ao longo das cadeias direta e reversa, a consideração de custos fixos na utilização das rotas existentes pelos modais ferroviário e hidroviário e a

consideração de lotes de tamanho pré-determinados nos processos produtivos.

Porém, o uso mais tradicional de variáveis binárias na modelagem de cadeias de suprimento é na modelagem do projeto da rede logística, considerando a possibilidade de implantação de novos terminais concentradores e de novas fábricas, que poderiam ser monoproduto, como considerado no estudo de cenários, ou multiproduto. Nesse caso, dentro de uma mesma fábrica, é possível utilizar o RPPA disponível como matéria prima para produzir um mix variado de produtos ao longo do tempo, inserindo a possibilidade da análise dinâmica da cadeia reversa do açaí, tanto de forma tática, com período de semanas ou meses, o que permite a consideração da sazonalidade de produção do açaí ou, ainda, estratégica, permitindo analisar o crescimento da cadeia ao longo de anos de planejamento.

Sugerem-se, como trabalhos futuros, em primeiro lugar, o aprofundamento do estudo de cenários analisados, o que pode contribuir, e muito, para a divulgação do potencial não só da modelagem proposta, como também de todas as todas as pesquisas que vêm sendo desenvovidas para possibilidade de gerar valor através da reinserção do RPPA nos mais diversos segmentos industriais.

Em segundo lugar, sugere-se uma discussão prática em relação aos resultados produzidos pelo modelo, sob os pontos de vista econômico e ambiental. Por exemplo, a fabriação e difusão do uso de elementos filtrantes no tratamento de água pode absorver uma quantidade significativa de RPPA, o que contribui para a geração de valor e renda. Por outro lado, depois da sua ulitlização, o elemento filtrante ainda exige uma disposição final adequada, o que não ocorre com a produção de biomassa e carvão vegetal. Quanto de resíduo é gerado por uma fábrica de biojóias ou de MDF e quanto a produção desses itens de maior valor agregado contribui para a divulgação do potencial da cadeia reversa do açaí, conquistando novos consumidores ambientalmente conscientes?

Em último lugar, sugere-se que, à medida que novoso avanços ocorram na gestão da cadeia reversa do açaí, novos modelos, em especial os que possibilitam análises táticas e estratégicas sejam formulados. Isso garante que a tecnologia disponível da modelagem de Pesquisa Operacional seja melhor aproveitada e expandida para novas aplicações, com ganhos teóricos e práticos simultâneos.

Referências

- ALMEIDA, A. V. d. C. et al. Revalorização do caroço de açaí em uma beneficiadora de polpas do município de ananindeua/pa: proposta de estruturação de um canal reverso orientado pela pars e logística reversa. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 12, n. 3, 2016. 6, 2, 4
- ALSHAMSI, A.; DIABAT, A. A genetic algorithm for reverse logistics network design: A case study from the gcc. *Journal of Cleaner Production*, n. 151, p. 652–669, 2017. 8
- ALUMUR, S. et al. Multi-period reverse logistics network design. European Journal of Operational Research, n. 196, p. 67–78, 2012. 8
- ALVIM, I. R. et al. Canais reversos dos resíduos da produção de polpa de açaí na cidade de castanhal-pa: Uma abordagem orientada por processos. *Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*, 2017. 6
- AMBIENTE, M. do M. *Logística Reversa*. 2018. Disponível em: http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/logistica-reversa. 5
- APAIAH, R.; HENDRIX, E. Design of a supply chain network for pea-based novel protein foods. *Journal of Food Engineering*, n. 70, p. 383–391, 2005. 6, 2, 3, 4, 9, 12, 13, 15, 20, 26
- BACHA, C. J. C. O mercado de produtos florestais no Brasil em 2017 e 2018. 2011. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniao-cepea/os-mercados-de-produtos-florestais-no-brasil-em-2017-e-2018.aspx. 23
- BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial. [S.l.]: Porto Alegre, Bookman, 2006. v. 5. 4
- BENATTI, L. P. INOVAÇÃO NAS TÉCNICAS DE ACABAMENTO DECORATIVO EM SEMENTES ORNAMENTAIS BRASILEIRAS: DESIGN APLICADO A PRODUTOS COM PERFIL SUSTENTÁVEL. 146 p. Monografia (Dissertação em Design) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. 6
- CANNELLA, S.; BRUCCOLERI, M.; FRAMINAN, J. Closed-loop supply chains: What reverse logistics factors influence performance? *Int. J. Production Economics*, n. 175, p. 35–49, 2016. 8
- CARNEIRO, J. d. S. et al. Estudo de viabilidade do aproveitamento energÉtico da queima de caroÇos de aÇaÍ produzidos no municÍpio de castanhal-pa. *Amazônia em Foco*, v. 2, n. 2, p. 47–63, 2013. 7
- COELHO, E. K. F.; MATHEUS, G. R. A capacitated plant location model for reverse logistics activities. *Journal of Cleaner Production*, n. 167, p. 1165–1176, 2017. 9
- CONAB. Conjuntura Mensal: Açaí (fruto) Período: 01 a 31/01/2014. 2015. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_02_10_16_52_17_acaifrutojaneiro.pdf>. 6, 5

Referências 37

DIAS, M. M. d. S. et al. Canais reversos da produção de polpa de açaí no estado do pará no contexto da política nacionais de resíduos sólidos. *Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*, 2017. 5

- DIAS, M. M. d. S. et al. Caracterização da cadeia produtiva de polpa de açaí no estado do pará: Um estudo voltado à gestão sustentável de resíduos. Simpósio de Engenharia de Produção, 2017. 5
- FERNANDES, L. S. et al. Aproveitamento da semente de aÇaÍ para produÇÃo de bebida À base de cafÉ. *Engenharia na agricultura*, v. 19, n. 6, 2011. 7
- GOVINDAN, K.; BOUZON, M. From a literature review to a multi-perspective framework for reverse logistics barriers and drivers. *Journal of Cleaner Production*, n. 187, p. 318–337, 2018. 9
- IBGE. IBGE. 2018. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289#resultado. 1
- MIN, H.; KO, H.-J. The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers. *Int. J. Production Economics*, n. 113, p. 176–192, 2008. 8
- MOL, E. S. F. et al. Análise comparativa dos custos de produção e lucratividade dos cafés arábica e conilon nas principais cidades produtoras do brasil no período de 2015 e 2016. XXV Congresso Brasileiro de Custos, 2018. 23
- MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. Metodologia de Pesquisa em engenharia de produção e Gestão de Operações, p. 169–186, 2012. 13, 14
- NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIREDO, F. J. C.; MULLER, A. A. Açaí. [S.l.]: Belém, Embapra, 2005. v. 1. 1
- OLIVEIRA, D. P.; MORAES, J. K. P. MELHORIAS VOLTADAS À SUSTENTABILI-DADE DA CADEIA PRODUTIVA DE POLPA DE AÇAÍ: Um estudo baseado na análise dos fatores estratégicos à organização de canais reversos no município de Castanhal-Pa. 81 p. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Produção) — Universidade do Estado do Pará, Belém, 2017. 6
- PEREIRA, E. N.; JúNIOR, V. C. R. CarvÃo do caroÇo de aÇaÍ (euterpe oleracea) ativado quimicamente com hidrÓxido de sÓdio (naoh) e sua eficiÊncia no tratamento de Água para o consumo. *Prêmio Jovem Cientista*, 2013. 7
- RAHIMI, M.; GHEZAVATI, V. Sustainable multi-period reverse logistics network design and planning under uncertainty utilizing conditional value at risk (cvar). *Journal of Cleaner Production*, n. 172, p. 1567–1581, 2018. 8
- REIS, B. d. O. et al. Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açaí. *ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL*, v. 4, n. 1, 2002. 6, 1, 7, 23
- RIBEIRO, E. A. d. S. SISTEMAS PRODUTIVOS, DISPONIBILIDADE DE BIOMASSA E ATRIBUTOS ENERGÉTICOS DE CAROÇO DE AÇAÍ E RESÍDUOS DE SERRARIAS FAMILIARES, EM VÁRZEA ESTUARINA DO RIO AMAZONAS. 94 p. Monografia (Dissertação em Biodiversidade Tropical) Universidade Federal de Minas Gerais, Macapá, 2017. 7

Referências 38

RIVERA, R. C.; ERTEL, J. Reverse logistics network design for the collection of end-of-life vehicles in mexico. *European Journal of Operational Research*, n. 196, p. 930–939, 2009. 7

- SAGRI. Produção agrícola do estado do Pará. 2010. Disponível em: http://www.sagri.gov.br/SIMA. 2, 5
- SAGRI. A importância do Açaí no Contexto Econômico, Social e Ambiental do Estado do Pará. 2011. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Fruticultura/27RO/App_A%C3%A7ai.pdf. 6
- SEBRAE. Mercado de Biojóias. 2014. Disponível em: http://www.sebraemercados.com. br/wp-content/uploads/2015/11/2014_07_31_RT_Agosto_Moda_Biojoias_pdf.pdf>. 23
- SILVA, L. F. C. d. et al. Melhoria na distribuição de polpas de açaí em uma processadora de frutos no município de castanhal pa: Uma proposta baseada na análise de componentes logísticos e ferramentas da qualidade. Simpósio de Engenharia de Produção, 2016. 2
- SILVEIRA, E. d. Plástico de açaí. Pesquisa FAPESP, n. 196, p. 56–57, 2012. 7
- SOBEPRO. O que é pesquisa operacional? 2017. Disponível em: https://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>. 7
- SOLEMANI, H.; GOVINDAN, K. Reverse logistics network design and planning utilizing conditional value at risk. *European Journal of Operational Research*, n. 237, p. 487–497, 2014. 8
- SOUSA, M. S. d. et al. Quantificação do caroço de açaí para a produção de carvão ativado no tratamento de água. *Universidade Federal do Pará*, 2017. 7, 23
- TAVARES, G. d. S.; HOMMA, A. K. O. Comercialização do açaí no estado do pará: alguns comentários. *OBSERVATORIO DE LA ECONOMIA LATINOAMERICANA*, 2015. 7, 1, 22, 26, 30
- TRC, G. Preço do frete (serviço de transporte). 2018. Disponível em: http://www.guiadotrc.com.br/truckinfo/reembolso_frete_free.asp>. 23
- YU, H.; SOLVANG, W. D. A carbon-constrained stochastic optimization model with augmented multi-criteria scenario-based risk-averse solution for reverse logistics network design under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, n. 164, p. 1248–1267, 2017. 8



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado "Uma proposta de modelagem linear para a cadeia reversa do açaí no Pará" é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 20 de Fevereiro de 2019.

Eduardo Sanches da Silva Filho



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas - ICEA Colegiado do Curso de Engenharia de Produção - COEP Campus João Monlevade



TERMO DE CONFORMIDADE

Certifico que o aluno Eduardo Sanches da Silva Filho, matrícula 14.2.8403, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado "Uma proposta de modelagem linear para a cadeia reversa do açaí no estado do Pará", efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

João Monlevade, 20 de Fevereiro de 2019.

Mônica do Amaral