



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção
Campus João Monlevade



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**UM MODELO PARA O PLANEJAMENTO DE ESTRUTURAS
DE BENEFICIAMENTO E ARMAZENAGEM DE BIOMASSA
PROVENIENTE DE CADEIAS DE SUPRIMENTO VERDES**

MARINA SILVA AMADOR

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JOÃO MONLEVADE

Julho, 2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção
Campus João Monlevade



MARINA SILVA AMADOR

**UM MODELO PARA O PLANEJAMENTO DE ESTRUTURAS
DE BENEFICIAMENTO E ARMAZENAGEM DE BIOMASSA
PROVENIENTE DE CADEIAS DE SUPRIMENTO VERDES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Produção do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof.^a Dra. Mônica do Amaral

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JOÃO MONLEVADE

Julho, 2018

A481m

Amador, Marina Silva.

Um modelo para o planejamento de estruturas de beneficiamento e armazenagem de biomassa proveniente de cadeias de suprimentos verdes [manuscrito] / Marina Silva Amador. - 2018.

52f.: il.: color; graf; tabs; mapas.

Orientador: Profa. Dra. Mônica do Amaral.

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

1. Engenharia de produção. 2. Sustentabilidade e meio ambiente. 3. Açaf. 4. Biomassa. I. Amaral, Mônica do. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 658.5:620.95



TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “UM MODELO PARA O PLANEJAMENTO DE ESTRUTURAS DE BENEFICIAMENTO E ARMAZENAGEM DE BIOMASSA PROVENIENTE DE CADEIAS DE SUPRIMENTO VERDES” 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, 19 de Julho de 2018.

Marina Silva Amador



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

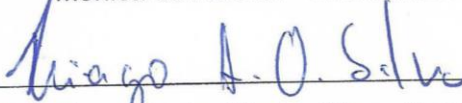
Aos dezenove dias do mês de julho de dois mil e dezoito, às 21 horas, na sala D203 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pela aluna **Marina Silva Amador**, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Mônica do Amaral, Thiago Augusto de Oliveira Silva e Viviane da Silva Serafim.


A aluna apresentou o trabalho intitulado **“UM MODELO PARA O PLANEJAMENTO DE ESTRUTURAS DE BENEFICIAMENTO E ARMAZENAGEM DE BIOMASSA PROVENIENTE DE CADEIAS DE SUPRIMENTO VERDES”**. A comissão examinadora deliberou, pela:

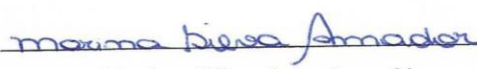
(X) Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções: 30 dias da aluna, com a nota 9,0 (nove vírgula zero). Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP 04/2017 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pela aluna.

João Monlevade, 19 de Julho de 2018.


Mônica do Amaral - Orientadora


Thiago Augusto de Oliveira Silva - Convidado


Viviane da Silva Serafim - Convidada


Marina Silva Amador - Aluna



AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter estado comigo em cada instante deste percurso. Por ter me dado saúde, sabedoria e persistência para enfrentar tantos desafios.

Aos meus pais, Eliane e Hernane, pois sem eles nada disso seria possível. Agradeço por não medirem esforços para que eu pudesse levar meus estudos adiante, por todo conforto que me deram, pelo amor incondicional e por serem meus maiores exemplos de dignidade e perseverança.

A vó Nélia pelos cuidados e por se fazer presente em todos os momentos da minha vida.

Aos meus irmãos, Victória e Tulio, por serem minhas fontes de inspiração e incentivo.

Aos professores pela disponibilidade e por terem trabalhado incansavelmente para que nós, alunos, contássemos com um ensino de extrema qualidade. Destaco a minha querida orientadora de monografia Mônica do Amaral, e a agradeço pela paciência, dedicação e ensinamentos que possibilitaram que eu realizasse este trabalho.

Aos meus amigos e colegas que me apoiaram durante todo o percurso na Universidade.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação.



RESUMO

O Pará é o estado brasileiro que lidera a produção de açaí no mercado nacional e internacional. Somente a polpa do fruto, que corresponde a 5 a 15% de sua massa, é consumida no ramo alimentício, o que faz com que a atividade de produção gere um alto volume de resíduo sólido. A outra parcela do açaí compreende o caroço e as fibras, resíduos orgânicos que são descartados de forma inadequada devido à falta de políticas de reaproveitamento de resíduos das indústrias beneficiadoras. No entanto, essas matérias podem ser convertidas em biomassa vegetal, as quais podem ser empregadas como fontes de energia renovável e de baixo custo. Como forma de contribuir para a redução do volume de resíduos, para uma cadeia reversa sustentável e para o desenvolvimento socioeconômico do Pará, desenvolveu-se neste trabalho um ciclo no qual o bagaço do açaí é levado do ponto de coleta ao centro de armazenamento e beneficiamento, onde passa pelo processo de peletização e é destinado aos clientes na forma de biomassa; esta pode ser aproveitada principalmente para combustão em caldeiras e fornos. Neste trabalho, foi proposto e implementado um modelo matemático de localização e alocação para instalações de tratamento e armazenagem de biomassa proveniente da cadeia produtiva do açaí na região metropolitana de Belém. Os resultados obtidos permitiram sugerir cidades nas quais as aberturas das fábricas seriam mais interessantes dadas as restrições estabelecidas, além da importância do estoque nesse tipo de organização.

Palavras-chave: Açaí; Biomassa; Logística Reversa; Modelo de localização.



ABSTRACT

Pará is a Brazilian state that leads the production of açai in the national and international market. Only the pulp of the fruit, which correspond to 5 - 15% of the entire fruit, is marketed as foodstuff, therefore, the production activity engender high volume of solid residue. The remaining mass of the fruit includes core and fibers, organic residues that are improperly discard by the processing industries due to the lack of waste reuse policies. However, these materials can be converted into plant biomass, and they can be employed as sources of renewable and low-cost energy. To reduce the waste volume and contribute with a sustainable reverse chain and socioeconomic development of Pará population, an açai cycle is proposed in this work, which the bagasse goes from the collection point to the storage and processing center, where it passes through the pelletizing process and is destined to customers as biomass. Then, the biomass could be mainly employed for the combustion in boilers and furnaces. This work employed a mathematical model of location and allocation to the treatment and storage facilities for biomass from the açai production chain of the metropolitan region of Belém. were proposed to improve the transport of the matters involved in the açai cycle. The results allowed suggesting more interesting cities where factories can be built, considering some restrictions and the importance of the stock in this type of organization.

Keywords: Açai; Biomass; Reverse Logistics; Location model.



LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Áreas de pesquisa acerca dos artigos publicados sobre açaí..... | 9 |
| Figura 2. Distribuição percentual da produção de frutos de açaizeiro durante o ano na microrregião de Belém, PA..... | 10 |
| Figura 3. Estruturação do canal reverso | 11 |
| Figura 4. Cadeia produtiva do açaí..... | 13 |
| Figura 5. Pontos de coleta do bagaço de açaí e possíveis locais de abertura de facilidades ... | 17 |
| Figura 6. Evolução da produção de açaí no Pará..... | 23 |
| Figura 7. Distribuição da produção de bagaço do açaí..... | 28 |



LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Quantidade de açaí produzido por extração vegetal no Pará e nos municípios de análise | 22 |
| Tabela 2. Oferta de bagaço do açaí por município | 23 |
| Tabela 3. Investimento fixo em ativos tangíveis | 24 |
| Tabela 4. Distância entre possíveis facilidades e pontos de demanda..... | 25 |
| Tabela 5. Fábricas de <i>pellets</i> , suas capacidades e quantidades produzidas | 26 |
| Tabela 6. Quantidade de biomassa produzida por cada facilidade aberta no Cenário 1 | 29 |
| Tabela 7. Utilização da capacidade de processamento em cada uma das facilidades (Cenário 1) | 30 |
| Tabela 8. Quantidade de biomassa produzida por cada facilidade aberta no Cenário 2 | 31 |
| Tabela 9. Utilização da capacidade de processamento em cada uma das facilidades (Cenário 2) | 31 |
| Tabela 10. Quantidade de biomassa produzida por cada facilidade aberta no Cenário 3 | 32 |
| Tabela 11. Utilização da capacidade de processamento em cada uma das facilidades (Cenário 3) | 33 |
| Tabela 12. Utilização de estoque no Cenário 3 | 33 |
| Tabela 13. Quantidade de biomassa produzida por cada facilidade aberta no Cenário 4 | 34 |
| Tabela 14. Utilização de estoque no Cenário 4 | 34 |



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|---|
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |
| AVABEL | Associação dos Vendedores Artesanais de Açaí de Belém |
| Embrapa | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| Sedap | Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca |
| Pró-Açaí | Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Açaí no Estado do Pará |
| ANEEL | Atlas de Energia Elétrica do Brasil |
| MME | Ministério de Minas e Energia |
| OIEE | Oferta Interna de Energia Elétrica |
| SEBRAE | Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas |
| Conab | Companhia Nacional de Abastecimento |
| CIPP | Complexo Industrial e Portuário do Pecém |
| AIE | Agência Internacional de Energia |
| Sifreca | Sistema de Informações de Fretes |



SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. OBJETIVOS | 2 |
| 1.1.1. Objetivo Geral | 2 |
| 1.1.2. Objetivos Específicos | 2 |
| 1.2. JUSTIFICATIVA | 3 |
| 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO | 3 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 5 |
| 2.1. LOGÍSTICA REVERSA | 5 |
| 2.2. BIOMASSA | 5 |
| 2.2.1. Uso da biomassa para fins energéticos | 7 |
| 2.3. CASO REAL DO PARÁ E A LOGÍSTICA REVERSA DO AÇAÍ | 8 |
| 2.4. LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES NA LOGÍSTICA | 12 |
| 2.5. TRABALHOS ANTERIORES | 13 |
| 3. METODOLOGIA | 15 |
| 4. MODELAGEM | 16 |
| 4.1. MODELO ESTRATÉGICO – LOCALIZAÇÃO | 16 |
| 4.1.1. Formulação matemática | 17 |
| 4.2. MODELO TÁTICO – MULTIPERÍODO | 20 |
| 4.2.1. Formulação matemática | 20 |
| 5. ANÁLISE DE DADOS | 22 |
| 5.1. MODELO ESTRATÉGICO – LOCALIZAÇÃO | 22 |
| 5.1.1. Oferta de bagaço de açaí nos pontos de coleta | 22 |
| 5.1.2. Custo fixo de implantação de facilidades | 24 |
| 5.1.3. Custo de transporte | 24 |
| 5.1.4. Demanda por bagaço de açaí | 25 |
| 5.1.5. Capacidade de processamento | 26 |
| 5.1.6. Custo de estocagem da biomassa | 27 |
| 5.2. MODELO TÁTICO – MULTIPERÍODO | 27 |
| 5.2.1. Custo de estoque | 27 |
| 5.2.2. Volume de biomassa em determinado período | 28 |



| | |
|---|----|
| 6. RESULTADOS COMPUTACIONAIS | 29 |
| 6.1. CENÁRIO 1: MENOR DEMANDA..... | 29 |
| 6.2. CENÁRIO 2: DEMANDA INTERMEDIÁRIA | 30 |
| 6.3. CENÁRIO 3: DEMANDA INTERMEDIÁRIA | 32 |
| 6.4. CENÁRIO 4: ALTA DEMANDA | 33 |
| 7. CONCLUSÃO | 36 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 38 |



1. INTRODUÇÃO

Na tentativa de diminuir os impactos ambientais, sociais e econômicos causados pelo descarte inadequado de resíduos sólidos, foi criada em 2010 a Lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Entre as propostas apresentadas, está a reciclagem e reutilização desse tipo de resíduo quando este apresenta valor econômico e pode ser reciclado e reaproveitado (Ministério do Meio Ambiente, 2010). Neste cenário, é válido mencionar a biomassa como um dos recursos ambientalmente corretos que serve de destinação para resíduos orgânicos.

A biomassa é qualquer matéria orgânica que pode ser utilizada na geração de energia. Pode ser proveniente de florestas (principalmente madeira), agricultura (soja, arroz, cana-de-açúcar, etc) e rejeitos urbanos e industriais. Perdoná (2013) justifica que a biomassa é um potencial a ser explorado no Brasil devido a características como custo baixo e alta disponibilidade, oportunidade de complementação com diversas biomassas, torna possível tornar a matriz energética brasileira mais “limpa e sustentável”, não é suscetível às oscilações de preço e elimina o passivo ambiental. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2005), uma de suas principais vantagens é que seu aproveitamento pode ser feito de maneira direta, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras e semelhantes. O Ministério afirma ainda que em relação às outras alternativas de produção de energia, a biomassa concorre praticamente sozinha no que diz respeito a produção de combustíveis líquidos renováveis, o que justifica a importância cada vez maior desse segmento em pesquisa e desenvolvimento.

A Secretaria de Energia e Mineração do Estado de São Paulo (2016) afirma que a biomassa é responsável por 8,83% da matriz elétrica nacional, o que equivale a 11.008.691 KW. O bagaço da cana-de-açúcar aparece como principal fonte de biomassa, representando 78,2% do total com a geração de 11.008.691 KW. O setor florestal é responsável por 20%, se apresentando como a segunda fonte fundamental.

Dentre os materiais que podem ser convertidos em biomassa vegetal está o caroço de açaí, que apresenta potencial para aproveitamento por indústrias e para geração de energia sustentável (AVABEL, 2017).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o Pará é o estado que lidera a produção de açaí no Brasil. Dados do IBGE (2010) mostram que ele



produz 106.562 toneladas de açaí (fruto), o que representa 85,6% das 124.421 toneladas produzidas nacionalmente. Além disso, essa atividade movimentou mais de 160 milhões de reais no estado. A Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca (Sedap) e a Embrapa Amazônia Oriental, juntamente com outras instituições, criaram o Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Açaí no Estado do Pará (Pró-Açaí) que tem como principal objetivo a ampliação da produção em 360 mil toneladas até o ano de 2024, expandindo assim a área de produção em 50 mil hectares. O Programa tem como fim a diminuição da sazonalidade do fruto, já que 80% de sua produção se concentra nos meses de julho a dezembro. Os números apresentados anteriormente só reforçam a importância da produção e comercialização do alimento para a economia do Pará.

De modo simplificado, a cadeia produtiva do açaí tem início no plantio de mudas de açaizeiro seguido pela colheita dos frutos maduros. Posteriormente, em uma agroindústria, é feito o beneficiamento do açaí. Os frutos são lavados e os não danificados são selecionados para a maceração, onde são imersos em água para amolecer a casca e a polpa. Em sequência, faz-se o despulpamento (XAVIER et al., 2006). A maior parcela da massa acaba virando resíduo, e é justamente essa que poderá ser reaproveitada como biomassa e terá foco no presente trabalho.

Apenas na Região Metropolitana de Belém, afere-se que existem cerca de dez mil pontos de venda do fruto, que produzem aproximadamente 200 quilos de resíduos (caroços) diariamente cada, com um volume total em volta de 1,6 a 2 toneladas por dia, podendo chegar a 550 mil toneladas anuais (AVABEL, 2017). “É importante salientar que o caroço de açaí é um resíduo agroindustrial, e sua destinação incorreta pode causar sérios problemas ambientais” (ELACHER et al., 2014, p.2931).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Caracterizar e modelar uma rede de beneficiamento e armazenagem de biomassa proveniente do bagaço de açaí.

1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos estão listados abaixo:



- Estudar o uso de biomassa no Brasil;
- Realizar uma pesquisa estatística sobre o crescimento de aproveitamento nacional de biomassa, com ênfase ao açaí na região metropolitana de Belém;
- Criar um modelo de localização de estruturas de tratamento e armazenagem com horizonte multiperíodo;
- Criar cenários e realizar testes computacionais, ilustrando a aplicabilidade do modelo.

1.2. JUSTIFICATIVA

Entre as cadeias produtivas mais importantes do Pará pode-se destacar a agroindústria do açaí. Essa atividade gera um altíssimo volume diário de lixo orgânico, composto principalmente por caroços do fruto, descartados em aterros sanitários e cursos d'água (FARINAS et al., 2009), o que pode vir a causar assoreamento e alagamentos. De acordo com a Lei 12.305, a destinação dos caroços é de responsabilidade de seu gerador (batedores); por esse motivo, não é permitido que as empresas licitadas para a coleta de Resíduos Sólidos Urbanos a faça, o que acaba culminando no descarte clandestino de resíduos.

Além dos impactos socioambientais gerados, o Pará deixa de ter benefícios econômicos já que o caroço do açaí é uma semente oleaginosa fonte de biomassa passível de interesse comercial (FARINAS et al., 2009).

O desenvolvimento deste trabalho pode auxiliar no descarte e aproveitamento adequado de caroços do fruto, contribuindo para uma cadeia reversa sustentável, para uma cidade mais limpa com menor geração de resíduos e maior segurança hídrica. Do ponto de vista de modelagem matemática, o problema consiste na localização e alocação das instalações de tratamento e armazenagem para a configuração de uma rede Logística de forma que o recebimento da matéria e o envio para seus clientes seja feito da maneira mais eficiente possível.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 7 capítulos. O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica realizada, que aborda as definições de logística reversa e biomassa, a utilização desse tipo de matéria orgânica para fins energéticos, informações acerca do processo



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção
Campus João Monlevade



produtivo do açaí no estado do Pará e trabalhos anteriores relacionados às temáticas de estudo. O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento.

O Capítulo 4 é dedicado às etapas de adaptação dos modelos de localização e planejamento de produção de Arenales et al. (2007) à cadeia reversa do açaí. Primeiramente, o problema é reformulado de modo estratégico para, em seguida, ser estudado na forma tática.

No Capítulo 5 analisam-se os dados encontrados relativos aos parâmetros dos modelos matemáticos desenvolvidos e no Capítulo 6 são apresentados os experimentos computacionais, com experimentos com dados ilustrativos e seus resultados comentados apenas para o modelo estratégico.

Por fim, no Capítulo 7 trabalha-se o desfecho do trabalho, com as conclusões e perspectivas para estudos futuros.



2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. LOGÍSTICA REVERSA

A Logística Reversa foi desenvolvida com o intuito de agregar valor à cadeia de suprimentos por intermédio do aproveitamento de materiais que sofreram descarte em um processo (ÁVILA; GRIEBELER, 2012).

Cavanha (2001, p.78 e 79) menciona a abrangência do processo logístico, de forma que este não tem fim na entrega do produto ao consumidor, e sim no “caminho completo de reciclagem dos objetos sem valor associado ao produto principal e até ao próprio produto principal, quando seu valor estiver em decrescimento para o seu utilizador.”

O inciso XII do artigo 3º da Lei 12305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos no país, define a Logística Reversa como

[...]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.

Melo et al. (2009, apud Ferri et al., 2013) afirma que as atividades reversas podem ser fundamentadas em aspectos econômicos - na medida em que se faz possível a recuperação de valor em produtos que já foram consumidos, em leis governamentais e em pressões dos usuários. A demanda por competitividade e por minimização de impactos ambientais também surgem como incentivos para a adoção de canais reversos (MAGALHÃES; PIASSI; AGUIAR, 2011 apud KOBAL et al., 2014).

2.2. BIOMASSA

Biomassa é toda matéria orgânica de origem animal ou vegetal passível de gerar energia mecânica, térmica ou elétrica. Baseando-se em sua origem, pode ser subdividida em: florestal (destacando-se a madeira), agrícola (soja, arroz, cana-de-açúcar, açaí, entre outros) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2005).



Vidal e Hora (2011, p.266) conceituam a biomassa como

todo material orgânico, não fóssil, que tenha conteúdo de energia química no seu interior, o que inclui todas as vegetações aquáticas ou terrestres, árvores, biomassa virgem, lixo orgânico, resíduos de agricultura, esterco de animais e outros tipos de restos industriais.

Seja qual for a definição atribuída à biomassa, habitualmente faz-se referência a dois termos: orgânico e renovável (ALMEIDA; FERREIRA, 2009).

A biomassa florestal é disponibilizada por resíduos – principalmente advindos de florestas - ou plantações de florestas energéticas. Como destaque tem-se a biomassa de madeira, que engloba tronco, ramos, folhas, cascas e raízes. Vidal e Hora (2011) afirmam que a pelletização colabora para a diminuição do teor de umidade e para o aumento da densidade da madeira, o que amplia as possibilidades de comércio internacional e a tornou a biomassa sólida mais negociada no mundo para fins energéticos.

A biomassa agrícola pode ser representada pelos produtos e subprodutos das plantações não florestais, como palhas e cascas de frutos e cereais, bagaços, resíduos das podas de pomares e vinhas, entre outros (SAITER, 2008). O caroço de açaí também se encontra entre os materiais que podem ser convertidos neste tipo de biomassa. No âmbito nacional, a biomassa agrícola que apresenta grande notoriedade é a cana-de-açúcar: a Agência Nacional de Energia Elétrica considera o bagaço proveniente da mesma o recurso de maior potencial para geração de energia elétrica no país.

Já a biomassa formada por rejeitos urbanos pode ser encontrada no lixo e no esgoto, nos estados sólido e líquido. Os efluentes líquidos vão das redes de esgoto para as estações de tratamento, onde dá-se origem a uma massa orgânica popularmente chamada de lodo: seu aproveitamento energético com base na rota tecnológica de digestão anaeróbica vem sendo estudado. Já no que diz respeito aos rejeitos sólidos, a biodigestão anaeróbica já é conhecida e apontada como a rota tecnológica de aproveitamento de biomassa mais vantajosa devido a fatores como: alto rendimento energético, capacidade despoluente e o fato de permitir valorizar o biogás mais obter um fertilizante (CARDOSO, 2012).

Finalmente, a biomassa proveniente de rejeitos industriais também pode ser utilizada na geração de biogás e é mais comumente originada em criadouros, abatedouros, destilarias,



fábricas de laticínios e indústria de processamento de carnes. Normalmente há pouca produção desses rejeitos e os locais nos quais são encontrados são dispersos, porém tais características não impedem seu aproveitamento energético (CARDOSO, 2012).

2.2.1. Uso da biomassa para fins energéticos

Segundo o Atlas de Energia Elétrica do Brasil - ANEEL (2005, p. 65), “a biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos”. No mercado nacional tanto quanto no internacional surge como uma importante possibilidade de diversificação da matriz energética, trazendo consigo o efeito de redução da dependência de combustíveis fósseis.

A energia obtida a partir da biomassa pode ser classificada em primária ou secundária. A primeira diz respeito à energia já encontrada no estado natural da matéria, como na madeira e na cana-de-açúcar, e é a menos destinada ao consumo final; já a segunda refere-se à energia não encontrada no estado natural, como a eletricidade. A maior parte da energia primária é consumida em centros de transformação (refinarias, usinas ou outros), convertendo-se em fontes secundárias para fins de consumo (VIDAL; HORA, 2011).

“Uma das principais vantagens da biomassa é o seu aproveitamento direto por meio da combustão da matéria orgânica em fornos ou caldeiras” (PORTAL BRASIL, 2017). Tecnologias de conversão como a gaseificação, pirólise e sistemas de cogeração contribuem para a eficiência do processo e para a redução de impactos socioambientais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2005).

Hall, House e Scrase (2005) destacam que a energia proveniente da biomassa, quando produzida de modo sustentável e eficiente, apresenta benefícios ambientais e sociais como redução da emissão de gás carbônico (CO₂), controle de resíduos, reciclagem de nutrientes, geração de empregos, entre outros. “Para diminuir os níveis de emissão de CO₂, o uso da biomassa como um substituto dos combustíveis fósseis (substituição total, *co-firing* etc) é mais vantajoso, do ponto de vista socioeconômico, do que o uso de florestas para sequestrar carbono” (HALL; HOUSE; SCRASE, 2005, p.26).

Fontoura (2011) ressalta ainda como vantagens do uso da biomassa para fins energéticos o baixo custo de produção (referindo-se aos resíduos) e o fato de ser uma fonte renovável. Atualmente, grande parte dos países objetiva reduzir o consumo de derivados de



petróleo e sua consequente dependência em relação a países exportadores dessa *commodity*; com isso promovem “ações para que as energias alternativas renováveis tenham participação significativa em suas matrizes energéticas” (CORTEZ; LORA; AYARZA, 2008, p.15). A biomassa contribui, assim, para a independência energética e geração de receita nos países que nela investem.

Dados revelam o crescimento da participação de renováveis na geração de energia do País. O Brasil fechou o ano de 2016 com 82,7% de fontes renováveis na Oferta Interna de Energia Elétrica, contra o indicador de 75,5% em 2015 (PORTAL BRASIL, 2017).

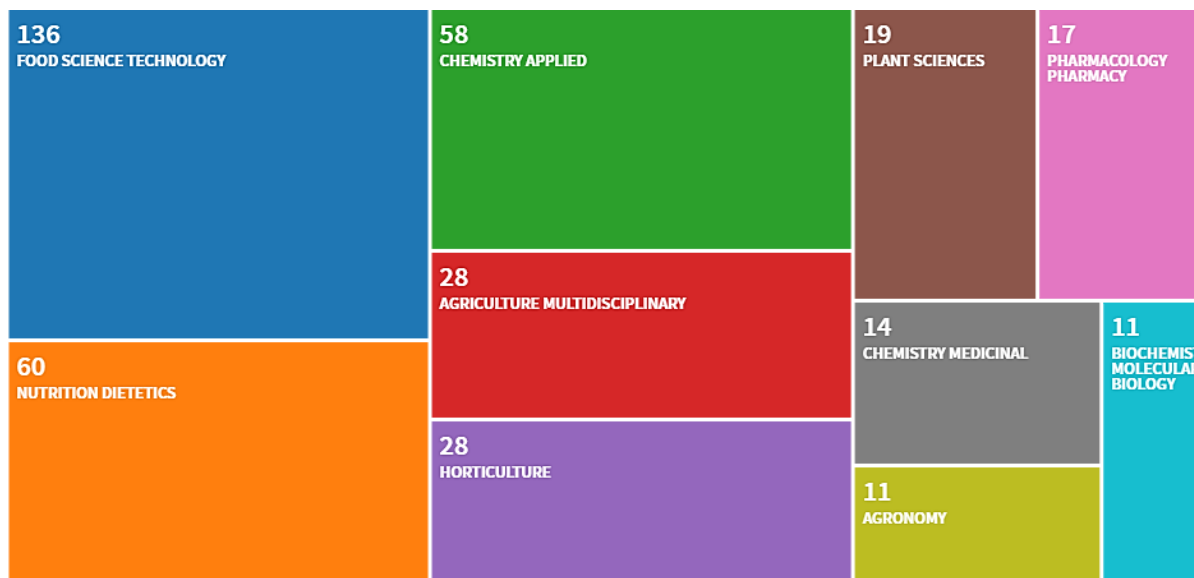
O Boletim Mensal de Energia, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), apontou em dezembro de 2016 a biomassa como segunda fonte de geração nacional mais importante no que diz respeito à Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) com o registro de 8,8%. O bagaço e a palha da cana contribuíram com 67% dos 54 terawatt-hora (TWh) gerados por biomassa no ano de 2016 (PORTAL BRASIL, 2017).

2.3. CASO REAL DO PARÁ E A LOGÍSTICA REVERSA DO AÇAÍ

O *site* de busca científica “*Web of Science*” detalha o crescimento, com o passar dos anos, acerca das pesquisas que envolvem o açaí. No total foram publicados 299 artigos científicos sobre o assunto; e esses totalizam 5786 citações na literatura científica. No entanto, como é possível visualizar na Figura 1, os artigos publicados acerca do tema predominantemente exploram as propriedades alimentícias do fruto, e não os processos de produção e logística (seja ela direta ou reversa). Tais estatísticas reforçam a necessidade de estudos que explorem e que colem mais informações (numéricas ou não) sobre os processos que agregam valor a cadeia produtiva do açaí.



Figura 1. Áreas de pesquisa acerca dos artigos publicados sobre açaí



Fonte: *Web of Science* (2018).

O Pará é o estado que lidera a produção de açaí no Brasil e no mundo em virtude das condições de solo e clima que apresenta (SEBRAE, 2015). Dados do IBGE (2016) mostram que ele produziu 131.836 toneladas do fruto das 215.609 toneladas que foram produzidas nacionalmente por extração vegetal, o que movimentou um valor superior a 400 milhões de reais no estado.

“O extrativismo do açaí na região amazônica tem um importante papel socioeconômico para o Estado do Pará, pois responde pela sustentação econômica das populações ribeirinhas, gerando emprego e renda” (BRANDÃO et al., 2015, p.4).

Há pouco mais de vinte anos, o Pará era basicamente o único estado consumidor de açaí. Somente na década de 1990 que o fruto ganhou notoriedade nacional e em seguida atingiu o mercado internacional (SEBRAE, 2015).

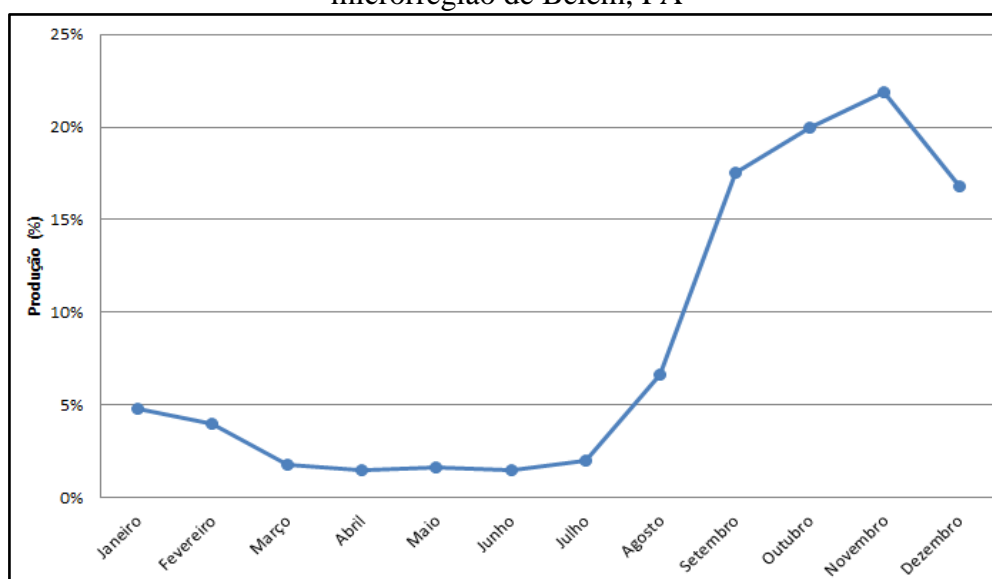
De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2014),

a produção do açaí no Estado do Pará é distribuída em duas fases: entressafra, predominante no primeiro semestre com produção de apenas 20% do total e, nos meses finais do ano, quando são colhidos 80% de todo o volume produzido. Durante a entressafra do nordeste paraense os processadores, principalmente de Belém são supridos pelos frutos produzidos nos Estados do Maranhão e Amapá.



Jardim e Stewart (1994, apud PADILHA; CANTO; RENDEIRO, 2006) afirmam que nas microrregiões adjacentes a Belém a maior produção de açaí acontece entre agosto e dezembro, que corresponde ao período de estiagens nessa faixa territorial. A Figura 2 representa a produção de açaí ao longo do ano na região de estudo. Devido à perecibilidade do fruto, durante a entressafra deve-se atentar no que diz respeito à manutenção da qualidade, o que exige um maior cuidado com a estocagem do mesmo (ALMEIDA et al., 2016).

Figura 2. Distribuição percentual da produção de frutos de açaizeiro durante o ano na microrregião de Belém, PA



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2005).

Buscando amenizar os impactos da sazonalidade do fruto, a Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca (Sedap) e a Embrapa Amazônia Oriental, juntamente com outras instituições, criaram o Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Açaí no Estado do Pará (Pró-Açaí). O Programa tem como principal objetivo a ampliação da produção no estado em 360 mil toneladas até o ano de 2024, expandindo assim a área de produção em 50 mil hectares.

A cadeia produtiva direta do açaí tem início no plantio de mudas de açaizeiro seguido pela colheita dos frutos maduros cerca de 4 anos depois. Os frutos são, então, armazenados em embalagens que permitem ventilação. Posteriormente, em uma agroindústria, é feito o beneficiamento do açaí. Os frutos são lavados e os não danificados são selecionados para a etapa seguinte: maceração, onde são imersos em água para amolecer a casca e a polpa. Em

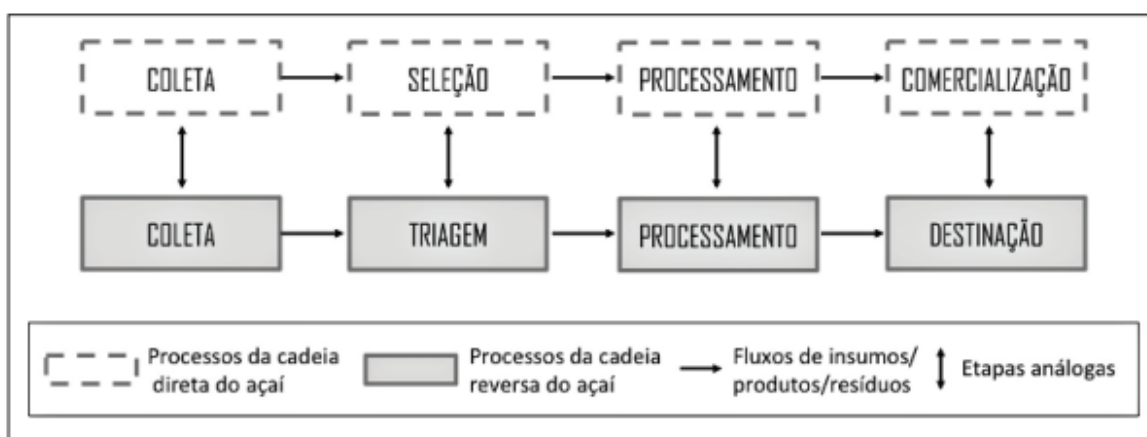


sequência, faz-se o despulpamento no qual a polpa separada representa cerca de 30% da massa do fruto (XAVIER et al., 2006). Outros autores, como Tinoco (2005) e Rogez (2000), afirmam que a polpa representa um volume ainda menor do total presente no fruto, o equivalente a uma margem de 5 a 15%. É essa porção que participará das próximas fases do beneficiamento (homogeneização, embalagem e congelamento) até originar a polpa de açaí, que é amplamente comercializada no mercado alimentício. Dessa forma, sinteticamente a cadeia é formada por: plantio, extração, processamento e comercialização do produto final, que corresponde a polpa ou “vinho” (EMBRAPA, 2006 apud ALMEIDA et al., 2016). A etapa de beneficiamento gera como subprodutos a polpa e o caroço do fruto, sendo este em maior parcela.

Na cidade de Belém, tem-se em média a comercialização anual de 300.000 toneladas do fruto, o que resulta em cerca de 255.000 toneladas de lixo orgânico. O descarte inadequado desses resíduos pode culminar em sérios impactos de cunho ambiental (OLIVEIRA; NETO; PENA, 2007).

Almeida et al. (2017) estruturou o canal reverso de produção do açaí, fazendo analogia com o sentido direto como mostra a Figura 3. As etapas de coleta e processamento se assemelham tanto em termos de definição quanto de execução.

Figura 3. Estruturação do canal reverso



Fonte: Almeida et al. (2017, p.73)

A coleta corresponde à primeira etapa da logística reversa e ocorre posteriormente a extração da polpa do açaí; nela o caroço e a fibra se encontram disponíveis para o recolhimento. Almeida et al. (2017) relatou que as beneficiadoras, responsáveis por dar um



destino ao resíduo, geralmente repassam a obrigação para os autônomos visando minimizar custos, e estes encaminham para destinos desconhecidos, na maioria das vezes inadequados. Melo et al. (2015) afirma que habitualmente o descarte é realizado nas ruas, nas redes de esgoto e nos rios.

Na triagem são feitas lavagem e secagem adicionais com a finalidade de se retirar substâncias contaminantes que podem ter entrado em contato com os caroços e fibras na disposição pré-coleta. Posteriormente, no processamento, fibras e caroços são separados para atender demandas voltadas à apenas uma dessas partes, além de ser realizada a secagem tradicional. Por fim, na destinação, a biomassa processada é encaminhada como forma de insumo aos ciclos produtivos (ALMEIDA et al., 2017).

2.4. LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES NA LOGÍSTICA

O problema de localizar uma indústria, serviço, ou qualquer tipo de instalação, consiste em definir a melhor localização geográfica para sua operação. Para isso, é necessário maximizar uma determinada medida de utilidade, satisfazendo as restrições impostas pela área de estudo, tais como demanda e sua capacidade de absorção por parte da facilidade, restrições de mão de obra, entre outras (PIZZOLATO et al., 2004 apud COUTO, 2017, p.62).

Aghezzaf (2005) integra o problema de localização de facilidades com o planejamento das capacidades em um único modelo determinístico que objetiva custo mínimo. O modelo matemático multiperíodo proposto pelo autor visa determinar a localização das instalações (facilidades), levando em conta a capacidade produtiva em cada local e a demanda ao longo de todo horizonte de planejamento.

Arenales et al. (2007) faz referência à criticidade da localização de instalações no planejamento estratégico das empresas, sejam elas públicas ou privadas. O autor descreve uma série de problemas com uma variável binária em comum, que indica se a facilidade é aberta em um dos locais de estudo ou não. Esses problemas são discriminados em: p-medianas, p-centros, p-medianas e p-centros com capacidade limitada, localização de facilidades com capacidade ilimitada, localização de facilidades com capacidade limitada, localização de facilidades com capacidade limitada e fonte única, custo fixo em fluxos em redes.

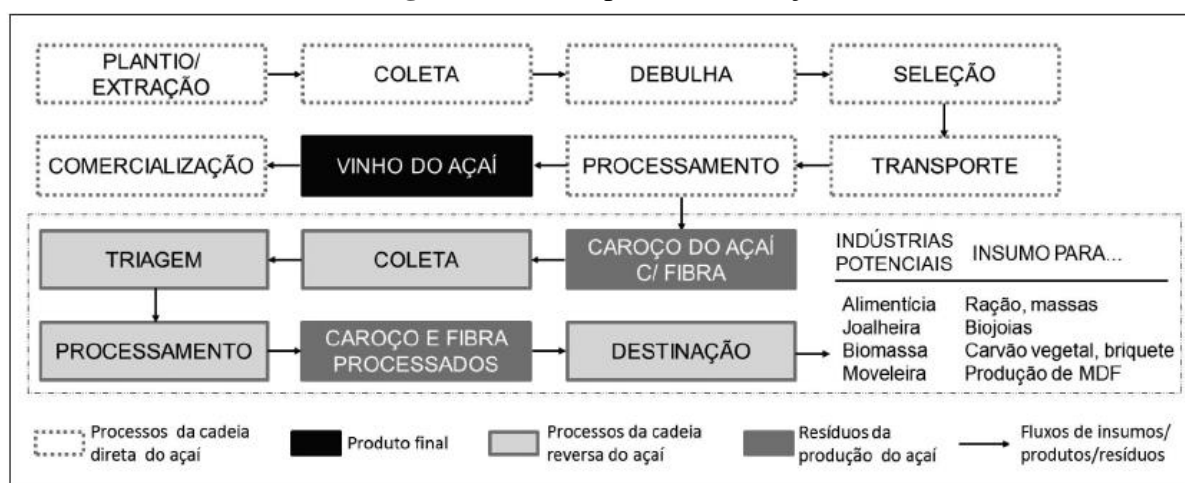


2.5. TRABALHOS ANTERIORES

A literatura contempla um número significativo de trabalhos relacionados à logística reversa e voltados à coleta, reciclagem e reuso de resíduos sólidos. No entanto, ainda são raras as publicações que se referem ao canal reverso dos resíduos orgânicos do açaí.

A cadeia produtiva do açaí, contemplando os elos diretos e reversos está representada na Figura 4 e foi proposta por Almeida et al. (2016). É válido destacar a ampla aplicabilidade do caroço e fibra de açaí processados, o que contribui para amenizar significativamente os impactos socioambientais gerados pelo descarte incorreto desses materiais.

Figura 4. Cadeia produtiva do açaí



Fonte: Almeida et al. (2016, p.69).

Vale e Moriconi (2015) estudaram uma empresa de coleta e beneficiamento de caroços de açaí na cidade de Outeiro (Pará), a fim de propor melhorias no processo logístico da etapa de processamento dos caroços. As autoras se apoiaram nos componentes logísticos e em ferramentas de qualidade para solucionar problemas relacionados à estoque, transporte, instalação e informação na etapa final do canal reverso de estudo.

Uma pesquisa realizada por Carneiro et al. (2013) com três agroindústrias do município de Castanhal (Pará), detectou a aplicabilidade do caroço de açaí como fonte de energia térmica nas próprias indústrias processadoras do fruto, em indústrias de cerâmica e possivelmente em outras de pequeno porte.

No que diz respeito a modelos matemáticos de localização, Ferri, Chaves e Ribeiro (2013) buscaram identificar a melhor localização para centros de armazenagem e triagem de



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção
Campus João Monlevade



resíduos sólidos urbanos visando benefícios como redução dos custos de transporte, aumento da vida útil do aterro sanitário e comercialização de materiais passíveis de reciclagem. Dessa forma, os RSU do município de São Mateus, ES seriam agrupados em uma espécie de centro de distribuição reverso.



3. METODOLOGIA

De acordo com a classificação de Silva e Meneses (2001), a pesquisa utilizada possui natureza aplicada, visto que busca o desenvolvimento de conhecimentos para aplicação prática e voltados à solução de problemas específicos; e a abordagem do problema é feita de forma quantitativa. Vale mencionar também que o modelo conceitual clássico da Pesquisa Operacional é normativo e a maioria das etapas envolvidas nele estão presentes no atual trabalho.

Bertrand e Fransoo (2002) classifica a metodologia de condução do desenvolvimento deste trabalho como pesquisa empírica normativa, visto que a Conceitualização, a Modelagem e o Modelo de Solução foram reproduzidos. A Conceitualização trata de buscar, nas teorias, explicações para o fenômeno que está sendo representado. A Modelagem corresponde ao processo de lapidação e enriquecimento através elaboração de representações mais simples e eficazes. O Modelo de Solução diz respeito à interdependência entre o modelo operacional do sistema e a solução obtida ou desejável.

Pode-se afirmar, então, que trata-se de uma pesquisa empírica normativa quantitativa, que, de acordo com Morabito e Pureza (2012), baseia-se em modelos que prescrevem uma decisão para o problema, podendo ser baseada em modelos de otimização. Esse tipo de pesquisa tem a preocupação principal de assegurar que exista adesão entre as observações e ações na realidade e o modelo elaborado daquela realidade.

Essa pesquisa é dividida em 5 fases, segundo Morabito e Pureza (2012), que são:

- Definição do problema: quando o escopo do problema é determinado, também as decisões de interesse e os objetivos envolvidos, e ainda, o modelo conceitual;
- Construção do modelo: fase em que são desenvolvidos o modelo matemático do problema com as informações e estimativas coletadas na primeira fase;
- Solução do modelo: são utilizados métodos de solução e algoritmos para a resolução do modelo;
- Validação do problema: se dá por verificar se o modelo proposto se adequa ao sistema real, quanto mais preciso, melhor a qualidade da solução;
- Implementação da solução: é a tradução do modelo para a organização em questão que resultará nas decisões que serão tomadas a partir dos resultados.



4. MODELAGEM

4.1. MODELO ESTRATÉGICO – LOCALIZAÇÃO

O problema a ser analisado consiste em planejar a instalação de facilidades que recebem caroços de açaí a partir do ponto de oferta e o distribuem na forma de biomassa até os pontos de demanda ao menor custo possível. Os pontos de oferta são as cidades da Região Metropolitana de Belém que produzem açaí. Os pontos de demanda são os polos industriais da região Nordeste brasileira, representados pelo Polo Petroquímico de Camaçari (Bahia), Complexo Industrial Portuário de Suape – Ipojuca (Pernambuco) e Complexo Industrial e Portuário do Pecém (Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará), Açailândia (Maranhão) – por onde passa a Estrada de Ferro Carajás – e a Holanda, berço do Porto de Rotterdam . A região Norte não é considerada ponto de demanda da biomassa do açaí pois, de acordo com Vale e Moriconi (2015), não há disponibilidade das fábricas em ajustar suas caldeiras para a aplicação desse material.

Dado o contexto acima, as variáveis de decisão correspondem a onde instalar as facilidades que armazenam e fabricam *pellets* com o caroço de açaí e às quantidades de biomassa demandadas, produzidas e em estoque na(s) facilidade(s) em um determinado período. O problema está sujeito a restrições de coleta do bagaço do açaí, de demanda, de fabricação de *pellets*, de capacidade de estocagem, de capacidade de processamento e de abertura da fábrica.

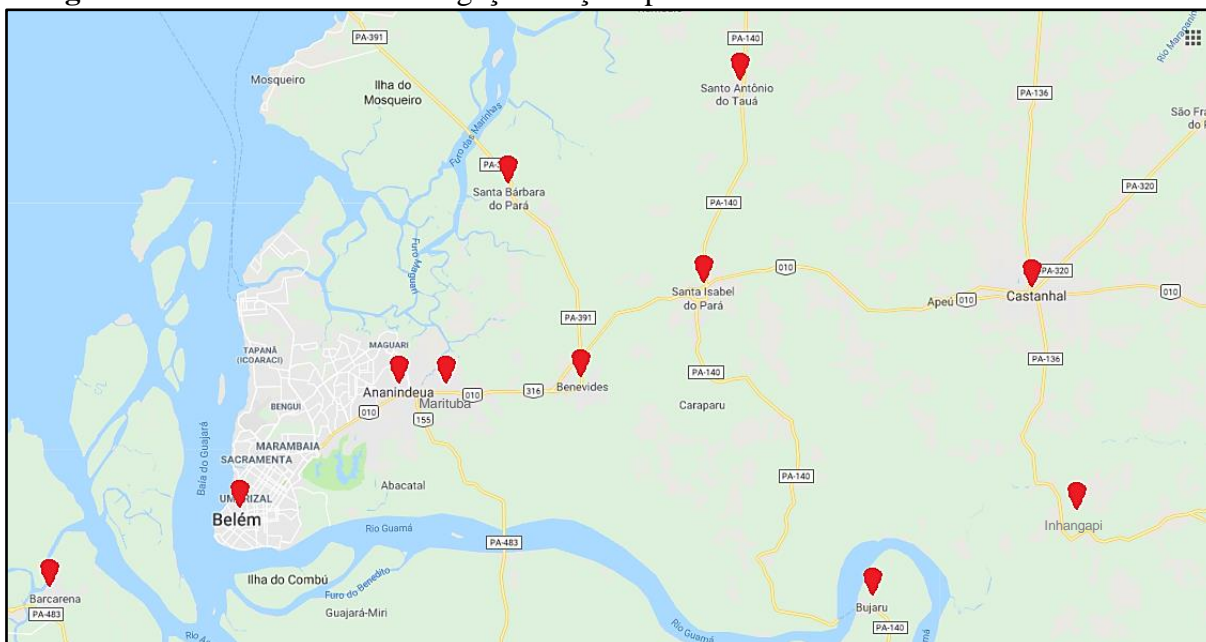
O modelo de localização em questão foi formulado considerando custos fixos de investimento, no qual, segundo Arenales et al. (2007, apud AMARAL; ALMEIDA; MORABITO, 2012, p. 720), o número de facilidades a serem abertas “depende do *trade off* entre o investimento na rede e a redução dos custos de transporte”. O modelo tem como base o de capacidade limitada e fonte única proposto pelo próprio Arenales et al. (2007). No entanto, a formulação foi adaptada conforme as particularidades do armazenamento e fabricação de *pellets* de caroço de açaí. Para isso foram adicionados um número maior de variáveis, parâmetros e restrições, o que acabou culminando em uma função objetivo mais robusta.

A Figura 5 mostra os pontos de coleta do bagaço de açaí, sendo eles: Belém, Ananindeua, Barcarena, Benevides, Marituba, Santa Bárbara do Pará, Castanhal, Bujaru,



Inhangapi, Santa Izabel do Pará e Santo Antônio do Tauá. Essas cidades também serão consideradas possíveis locais de abertura de facilidades.

Figura 5. Pontos de coleta do bagaço de açaí e possíveis locais de abertura de facilidades



Fonte: A autora (2018).

4.1.1. Formulação matemática

O problema em questão possui quatro conjuntos indicados por I , J , K e T , sendo:

I = Conjunto de facilidades;

J = Conjunto de clientes;

K = Pontos de coleta de bagaço de açaí (matéria prima);

V = Conjunto que representa todos os vértices da rede;

T = Períodos de planejamento.

A formulação baseia-se na seguinte definição de parâmetros:

a_{kt} = Oferta de bagaço de açaí no ponto de coleta k no período de planejamento t , $\{ k \in K \}$ e $\{ t \in T \}$;

f_i = Custo fixo de implantação da facilidade i , $\{ i \in I \}$;

c_{ij} = Custo de transporte entre a facilidade i e o cliente j , $\{ j \in J \}$;



d_{jt} = Demanda do cliente j no período t ;

u_i = Capacidade de armazenagem da facilidade i ;

v_i = Capacidade de processamento da facilidade i ;

h = Custo de estocagem de biomassa de açaí;

s_{0i} = Estoque inicial de biomassa de açaí na facilidade i ;

α = Rendimento da fábrica de *pellets* de açaí.

São definidas as seguintes variáveis:

y_{it} = Variável de decisão = $\begin{cases} 1, & \text{se a facilidade } i \text{ é aberta no período } t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

x_{ijt} = Quantidade de biomassa a ser enviada ao cliente j a partir da facilidade i no período t ;

z_{it} = Quantidade de biomassa produzida pela facilidade i no período t ;

s_{it} = Quantidade de biomassa em estoque na facilidade i no período t ;

O modelo pode, então, ser formulado pelas Equações (1)-(13):

$$\text{Min} \sum_{i \in I} \sum_{\substack{t \in T \\ t=1}} f_i * y_{it} + \sum_{i \in I} \sum_{\substack{t \in T \\ t > 1}} f_i * (y_{it} - y_{i,t-1}) + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} c_{ij} * x_{ijt} + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} h * s_{it} \quad (1)$$

sujeito a:

$$\sum_{i \in I} x_{kit} = a_{kt} \quad \forall k \in K, \quad t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijt} \geq d_{jt} \quad \forall j \in J, \quad t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} x_{kit} = \alpha * z_{it} \quad \forall i \in I, \quad t \in T \quad (4)$$

$$s_{it} \leq u_i * y_{it} \quad \forall i \in I, \quad t \in T \quad (5)$$

$$z_{it} \leq v_i * y_{it} \quad \forall i \in I, \quad t \in T \quad (6)$$

$$y_{i,t-1} \leq y_{it} \quad \forall i \in I, \quad t \in T : t > 1 \quad (7)$$



$$s_{it} = s_{0i} + z_{it} - \sum_{j \in J} x_{ijt} \quad \forall i \in I, \quad t \in T: t = 1 \quad (8)$$

$$s_{it} = s_{i,t-1} + z_{it} - \sum_{j \in J} x_{ijt} \quad \forall i \in I, \quad t \in T: t > 1 \quad (9)$$

$$s_{it} = 0 \quad \forall i \in I, \quad t \in T: t = 5 \quad (10)$$

$$y_{it} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \quad t \in T \quad (11)$$

$$x_{ijt} \geq 0 \quad \forall i \in I, \quad j \in J, \quad t \in T \quad (12)$$

$$z_{it} \geq 0 \quad \forall i \in I, \quad t \in T \quad (13)$$

$$s_{it} \geq 0 \quad \forall i \in I, \quad t \in T \quad (14)$$

A função objetivo (Equação 1) visa à minimização dos custos de implantação, transporte e estocagem. A restrição da Equação 2 garante a coleta do bagaço de açaí, enquanto a Equação 3 garante a entrega da biomassa do açaí nos pontos de demanda e a Equação 4 assegura que todo o bagaço de açaí que chega é transformado em *pellets* no mesmo período. As restrições das Equações 5 e 6 afirmam as limitações de capacidade, sendo que a primeira refere-se à capacidade de estocagem e a segunda à de processamento. Na Equação 7, garante-se que uma fábrica aberta permanece aberta até o fim do horizonte de planejamento. As restrições representadas nas Equações 8 e 9 simbolizam o balanço de fluxo da quantidade de biomassa produzida, estocada e vendida, de forma que a quantidade de biomassa produzida no período t somada a quantidade em estoque no período anterior equivale à demanda do mesmo produto no período em questão somada ao estoque deste período. Na Equação 10 é estabelecido que no último período de planejamento, não deve haver biomassa em estoque em nenhuma das facilidades abertas. Finalmente, nas Equações 11-14 são definidos os domínios das variáveis, sendo as variáveis que quantificam a biomassa não negativas e binária a que indica abertura de facilidades.



4.2. MODELO TÁTICO – MULTIPERÍODO

O modelo em questão é voltado para o planejamento tático da produção de biomassa. Nesse tipo de planejamento, os objetivos, estratégias e políticas estabelecidos no planejamento estratégico são decompostos em níveis operacionais inferiores em busca do uso eficiente dos recursos disponíveis (VALENTIM, 2017).

Trata-se de um planejamento a médio prazo que se preocupa em atender a quantidade demandada da biomassa em todos os períodos de análise sem comprometer financeiramente as instalações. Será levado em conta o estoque, seu custo e a capacidade de armazenamento de biomassa dentro do armazém.

A sazonalidade da produção do fruto reforça a necessidade de aplicação do modelo de análise de produção multiperíodo.

4.2.1. Formulação matemática

O problema em questão possui um conjunto indicado por T :

T = Períodos de planejamento.

A formulação baseia-se na seguinte definição de parâmetros:

h = Custo de estoque;

d_t = Demanda de biomassa no período t ;

I_0 = Estoque inicial;

D_t = Capacidade de estoque no período t ;

v_t = Volume de biomassa no período t .

São definidas as seguintes variáveis:

I_t = Estoque ao final do período t .

x_t = Quantidade de biomassa produzida no período t .

O modelo pode, então, ser formulado pelas Equações (15)-(21):

$$\text{Min} \sum_{t \in T} h * I_t \quad (15)$$



sujeito a:

$$I_t = I_0 + x_t - d_t \quad \forall t \in T: t = 1 \quad (16)$$

$$I_t = I_{t-1} + x_t - d_t \quad \forall t \in T: t > 1 \quad (17)$$

$$x_t \leq \left(\sum_{\tau \in T} d_\tau \right) * y_t \quad \forall t \in T \quad (18)$$

$$v_t * I_t \leq D_t \quad \forall t \in T \quad (19)$$

$$I_t \geq 0 \quad \forall t \in T \quad (20)$$

$$x_t \geq 0 \quad \forall t \in T \quad (21)$$

A função objetivo (Equação 15) visa à minimização do custo de estoque. As restrições das Equações 16 e 17 garantem o atendimento à demanda e simbolizam o balanço de fluxo da quantidade de biomassa produzida, estocada e vendida. A Equação 18 dita que uma vez em que haja produção, esta deve atender a demanda de um ou mais períodos subsequentes. Já a restrição da Equação 19 limita a quantidade estocada conforme a capacidade de armazenamento da fábrica. Finalmente, nas Equações 20 e 21 são definidos os domínios das variáveis, sendo ambas (quantidade produzida e estocada) não negativas.



5. ANÁLISE DE DADOS

5.1. MODELO ESTRATÉGICO – LOCALIZAÇÃO

5.1.1. Oferta de bagaço de açaí nos pontos de coleta

O modelo considera a produção de açaí por extração vegetal na Região Metropolitana de Belém, que engloba, além da capital do Pará, as cidades de Ananindeua, Barcarena, Benevides, Marituba, Santa Bárbara do Pará, Castanhal, Bujaru, Inhangapi, Santa Izabel do Pará e Santo Antônio do Tauá. Dados do IBGE, apresentados na Tabela 1, mostram a quantidade de açaí produzido nessas localidades no ano de 2016.

Tabela 1. Quantidade de açaí produzido por extração vegetal no Pará e nos municípios de análise

| UF, Mesorregião, Microrregião e Município | Quantidade produzida na extração vegetal (Ton) |
|---|--|
| Pará | 131836 |
| Belém | 2599 |
| Ananindeua | 80 |
| Barcarena | 1300 |
| Benevides | 50 |
| Marituba | 19 |
| Santa Bárbara do Pará | 450 |
| Castanhal | 7082 |
| Bujaru | 350 |
| Inhangapi | 6400 |
| Santa Izabel do Pará | 200 |
| Santo Antônio do Tauá | 132 |

Fonte: IBGE (2016).

Tinoco (2005) e Rogez (2000) afirmam que a polpa do açaí representa uma margem de 5 a 15% do volume total presente no fruto; o que permite considerar, no modelo, o bagaço como 85% da produção total de açaí em cada um dos municípios de coleta como mostra a Tabela 2.



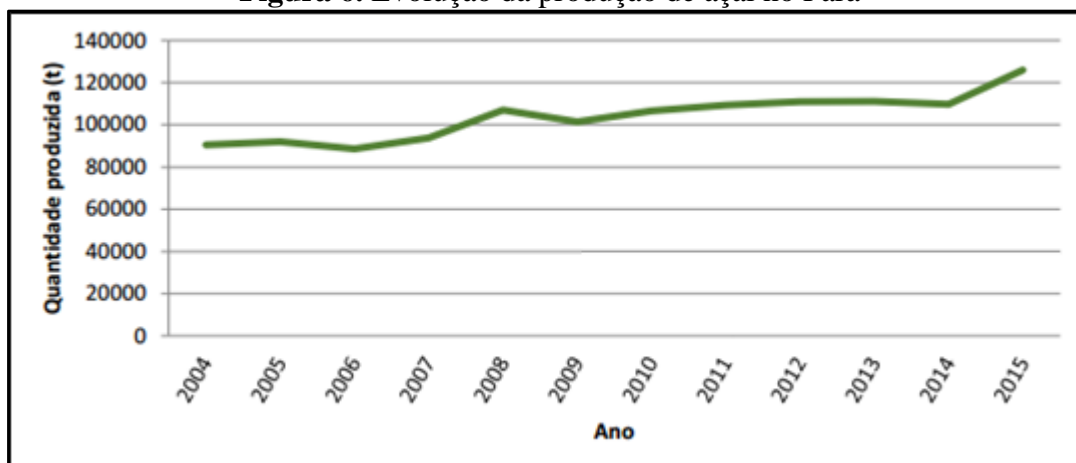
Tabela 2. Oferta de bagaço do açaí por município

| Ponto de Coleta | Produção de Açaí (ton) | Oferta de Bagaço |
|-----------------------|------------------------|-------------------|
| | | (85% da produção) |
| Belém | 2599 | 2209,15 |
| Ananindeua | 80 | 68 |
| Barcarena | 1300 | 1105 |
| Benevides | 50 | 42,5 |
| Marituba | 19 | 16,15 |
| Santa Bárbara do Pará | 450 | 382,5 |
| Castanhal | 7082 | 6019,7 |
| Bujaru | 350 | 297,5 |
| Inhangapi | 6400 | 5440 |
| Santa Izabel do Pará | 200 | 170 |
| Santo Antônio do Tauá | 132 | 112,2 |

Fonte: A autora (2018).

Na Figura 6 é possível acompanhar a evolução da produção de açaí no período de 2004 a 2015 no estado do Pará. Nota-se que no decorrer desse período, houve um aumento de cerca de 40000 toneladas de frutos produzidos, o que equivale a aproximadamente 3640 toneladas/ano. Como nos pontos de coleta analisados encontra-se apenas 14,15% da produção de açaí no Pará, será levado em consideração um aumento de 515,26 toneladas/ano da oferta de açaí por extração vegetal, logo 438 toneladas/ano de bagaço para cada um dos períodos do modelo estratégico.

Figura 6. Evolução da produção de açaí no Pará



Fonte: Adaptado de Junqueira, Basso e Souza (2017).



5.1.2. Custo fixo de implantação de facilidades

Para implantar uma fábrica de produção de pallets é necessário investir em instalações industriais (eletricidade, água, telefone, estrutura de suporte de máquinas, etc); em aquisição de máquinas, móveis e equipamentos diversos e adquirir terreno (SANDER, 2011).

Sander (2011) calculou o investimento fixo em ativos tangíveis para uma fábrica de *pellets* com capacidade produtiva de 400.000 kg/mês, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Investimento fixo em ativos tangíveis

| Quantidade | Equipamentos | Custo Unitário (R\$) | Depreciação Anual (R\$) |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1 | Equipamento de Pelletização | 385.057,10 | 38.505,71 |
| 1 | Terreno para instalação | 150.000,00 | - |
| 1 | Instalação industrial | 25.000,00 | 2.500,00 |
| 1 | Móveis e equip. diversos | 8.000,00 | 800,00 |
| 1 | Construção civil | 55.008,00 | 2.200,32 |
| | Total | 623.065,10 | 44.006,03 |

Fonte: Sander (p.26, 2011).

5.1.3. Custo de transporte

Para obter o custo de transporte entre a facilidade e o cliente é necessário levar em consideração fatores como a distância entre ambos, o valor do frete, a quantidade a ser transportada e o modal utilizado.

Para a obtenção do custo por tonelada e distância percorrida (km), foi feita uma média das médias dos custos para se transportar milho, soja e açúcar no território brasileiro divulgados pelo Sifreca. Assim, o valor estimado para transportar o bagaço do açaí foi de R\$ 0,204037/t.km.

As distâncias, em quilômetros, entre os locais passíveis de abertura de facilidades e os pontos de demanda localizados em território nacional estão representadas na Tabela 4.



Tabela 4. Distância entre possíveis facilidades e pontos de demanda

| | Polo Petroquímico de Camaçari | Complexo Industrial Portuário de Suape | Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) | Açailândia | |
|-----------------|-------------------------------|--|---|------------|-----|
| DISTÂNCIAS (km) | Belém | 2061 | 2062 | 1492 | 527 |
| | Ananindeua | 2046 | 2047 | 1477 | 512 |
| | Barcarena | 2113 | 2124 | 1566 | 544 |
| | Benevides | 2032 | 2032 | 1463 | 497 |
| | Marituba | 2041 | 2042 | 1472 | 507 |
| | Santa Bárbara do Pará | 2046 | 2047 | 1477 | 512 |
| | Castanhal | 1988 | 1989 | 1419 | 454 |
| | Bujaru | 2034 | 2046 | 1487 | 448 |
| | Inhangapi | 1989 | 2000 | 1442 | 479 |
| | Santa Izabel do Pará | 2032 | 2033 | 1463 | 497 |
| | Santo Antônio do Tauá | 2009 | 2020 | 1462 | 499 |

Fonte: A autora (2018).

Como o envio para a Holanda será feito pelo modal marítimo, até o porto de Rotterdam, e a distância compreendida entre ele e os pontos de demanda é significativamente alta, o custo de transporte a ser considerado no arquivo de dados do modelo corresponde a um valor relativamente alto.

5.1.4. Demanda por bagaço de açaí

A demanda pela biomassa do açaí foi distribuída aleatoriamente entre os clientes por meio do auxílio da ferramenta *Solver* existente no *Microsoft Excel*. Foram criados quatro cenários de distribuição entre os pontos de demanda: no primeiro considera-se que, juntos, os consumidores solicitam apenas 30% da quantidade ofertada pelos pontos de coleta; no segundo, a demanda aumenta para 50%; no terceiro 70% e, por fim, no quarto cenário, será analisada a situação na qual ela se iguala a oferta (100%).

Durante a distribuição da quantidade solicitada entre os pontos de demanda, levou-se em conta que o maior volume seria enviado para a exportação (Holanda) seguido dos polos industriais do Nordeste e por fim, Açailândia. Como o Complexo Industrial Portuário de Suape possui um conglomerado de 100 empresas foi considerado o polo que recebe maior quantidade do bagaço, seguido do Polo Industrial de Camaçari com cerca de 90 empresas e, por fim, o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) que congrega 30 empresas no



total. O número de empreendimentos que cada um possui é informado nos *sites* oficiais desses complexos.

A Folha de São Paulo (2011) publicou que a Agência Internacional de Energia – AIE estima que o uso da biomassa para geração de energia crescerá 2,6% ao ano no Brasil entre os anos de 2009 e 2035. Dessa forma, no decorrer dos períodos de análise do modelo estratégico, essa será considerada a taxa de crescimento da demanda por biomassa para cada um dos clientes de estudo localizados nacionalmente. Já no que diz respeito ao cliente internacional, representado neste trabalho pela Holanda, FAO (2015, apud PEREIRA, 2017) indica um crescimento anual de 41% no volume exportado de *pellets* no país.

5.1.5. Capacidade de processamento

“As empresas beneficiadoras trabalham com capacidade instalada maior do que a demanda para fazer frente aos “surto” de frutos de chegam em determinadas épocas e que necessitam ser processados no mesmo dia, sob pena de perda dos frutos devido a perecibilidade do produto.” (PAGLIARUSSI; DOS SANTOS; PESSOA, 2010, p.4)

Na Tabela 5 estão representadas algumas fábricas de *pellets* existentes no Brasil. É notória a discrepância existente entre a capacidade instalada e a produção que de fato acontece em cada uma delas. O uso exclusivo de biomassa residual colabora para a inviabilização da escala produtiva (ESCOBAR, 2014).

Tabela 5. Fábricas de *pellets*, suas capacidades e quantidades produzidas

| Code | Empresa Nome / Local | Capacidade (ton/año) | Produção (ton/año) |
|-------|-----------------------------------|----------------------|--------------------|
| BRA01 | Madersul, São Paulo | 18.750 | 4.800 |
| BRA02 | Piomade, Rio Grande do Sul | 3.750 | 2.880 |
| BRA03 | Koala Energy, Santa Catarina | 22.500 | 1.000 |
| BRA04 | Briquepar, Paraná | 30.000 | 12.000 |
| BRA05 | Energia Futura, Rio Grande Do Sul | 18.750 | 4.800 |
| BRA06 | BR Biomassa, Paraná | 22.500 | 8.000 |
| BRA07 | Ecopell, São Paulo | 22.500 | 5.000 |
| BRA08 | Ecoxpellets, Paraná | 37.500 | 5.600 |
| BRA09 | Eco-Pellets, Minhas Gerais | 1.125 | 100 |
| BRA10 | Línea, Paraná | 30.000 | 1.000 |
| BRA11 | Copellets, São Paulo | 7.500 | 4.800 |
| BRA12 | Elbra, Santa Catarina | 22.500 | 10.000 |
| | | 237.375 | 59.980 |

Fonte: Escobar (2014, p.27).



Pelo fato do modelo em questão não trabalhar com produção em larga escala, tomou-se como parâmetros as três menores capacidades (pertencentes à *Eco-Pellets*, *Piomade* e *Copellets*) para distribuir entre as possíveis facilidades. Nos municípios que produzem um volume menor de açaí, considerou-se a abertura de facilidades com capacidade produtiva de 1.125 ton/ano; em Belém a facilidade teria capacidade de processar 3.750 ton/ano; e em Castanhal e Inhangapi, maiores produtores de açaí estudados neste trabalho, a capacidade de 7.500 ton/ano. Tais considerações impactaram no custo fixo de implantação das fábricas, já que quanto maior a capacidade de processamento, maiores serão os gastos com equipamentos, máquinas, instalações industriais, entre outros.

5.1.6. Custo de estocagem da biomassa

O custo de estocagem da biomassa foi estipulado com base na Tabela de Tarifas para Unidades Armazenadoras de Ambiente Natural da Conab, aprovada na 1296ª Reunião da Diretoria Colegiada em 2017, que apresenta o valor de R\$3,29/tonelada para pulvéreos, granulados, peletizados, sementes, café em coco, amendoim, milho em espiga, cera de carnaúba, cevada, malte, aveia, farelo, etc.

5.2. MODELO TÁTICO – MULTIPERÍODO

O modelo em questão necessita de uma coleta de dados mais precisa; e por esse motivo sugere-se sua implementação computacional e aplicação de testes em trabalhos futuros. Além disso, para um planejamento tático é preciso considerar outros custos além do de estoque, o que torna necessário um mapeamento mais consistente dos itens que acarretam custos em uma indústria de beneficiamento e armazenagem de biomassa de açaí.

Nas duas seções a seguir encontram-se sugestões de dados para um futuro estudo acerca do planejamento tático.

5.2.1. Custo de estoque

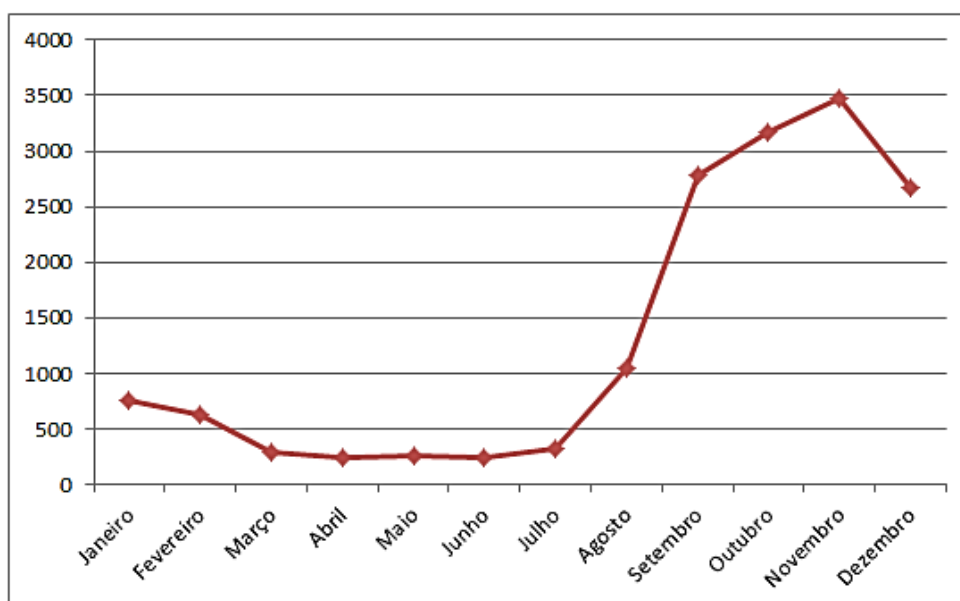
O custo de estoque a ser considerado neste modelo poderá ser o mesmo do modelo estratégico, definido com base na Tabela de Tarifas para Unidades Armazenadoras de Ambiente Natural da Conab: R\$3,29/tonelada.



5.2.2. Volume de biomassa em determinado período

Para calcular o volume de biomassa em cada um dos períodos será necessário levar em consideração a sazonalidade da produção do açaí. Tomando como base a produção do açaí por extração vegetal divulgada pelo IBGE no ano de 2016, a distribuição do bagaço do fruto respeitando a periodicidade com a qual ele é produzido no estado do Pará pode ser representada pela Figura 7.

Figura 7. Distribuição da produção de bagaço do açaí



Fonte: A autora (2018).



6. RESULTADOS COMPUTACIONAIS

O modelo estratégico (Equações 1-14) foi implementado computacionalmente utilizando-se a linguagem de modelagem AMPL (FOURER; GAY; KERNIGHAN, 2002). Nas seções que se seguem, serão apresentados os resultados feitos com os quatro diferentes cenários de demanda.

6.1. CENÁRIO 1: MENOR DEMANDA

Como já foi dito anteriormente, o Cenário 1 foi desenvolvido considerando uma demanda não tão significativa, na qual os consumidores solicitam apenas 30% da quantidade ofertada pelos pontos de coleta.

No primeiro período de análise ocorreu a abertura de facilidade em 7 das 11 cidades paraenses candidatas: Ananindeua, Benevides, Castanhal, Bujaru, Inhangapi, Santa Izabel do Pará e Santo Antônio do Tauá. No segundo período foi necessário abrir uma nova facilidade em Santa Barbara do Pará para suprir a demanda. Nos períodos 3 e 4 não ocorreu a abertura de nenhuma fábrica. Por fim, no último ano de análise Marituba foi contemplada com uma facilidade.

A quantidade de biomassa, em toneladas, produzida nos municípios que abrangeram as fábricas em cada intervalo de tempo analisado está representada na Tabela 6.

Tabela 6. Quantidade de biomassa produzida por cada facilidade aberta no Cenário 1

| FÁBRICA | PERÍODO DE PLANEJAMENTO | | | | |
|-----------------------|-------------------------|--------|--------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ananindeua | 328,375 | 712,23 | 298,13 | 845,75 | 268,212 |
| Benevides | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Marituba | - | - | - | - | 1125 |
| Santa Barbara do Pará | - | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Castanhal | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 |
| Bujaru | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Inhangapi | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 |
| Santa Izabel do Pará | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Santo Antônio do Tauá | 163,595 | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |

Fonte: A autora (2018).



Nesse cenário, as capacidades das fábricas estão compatíveis com a demanda e, por esse motivo, os estoques não foram utilizados. Analisando a Tabela 7 e comparando-a com a Tabela 6, é possível identificar que apenas as fábricas de Ananindeua e Santo Antônio do Tauá não tiveram suas capacidades totais utilizadas. A primeira apresentou folga em todos os períodos; já a outra apenas no primeiro deles. Os custos de transportes acima dessas duas fábricas explicam porque elas foram menos utilizadas que as demais.

Tabela 7. Utilização da capacidade de processamento em cada uma das facilidades (Cenário 1)

| Fábrica | Capacidade | % Máx. Utilização |
|-----------------------|------------|-------------------|
| Ananindeua | 1125 | 75,2% |
| Benevides | 1125 | 100,0% |
| Marituba | 1125 | 100,0% |
| Santa Barbara do Pará | 1125 | 100,0% |
| Castanhal | 7500 | 100,0% |
| Bujaru | 1125 | 100,0% |
| Inhangapi | 7500 | 100,0% |
| Santa Izabel do Pará | 1125 | 100,0% |
| Santo Antônio do Tauá | 1125 | 100,0% |

Fonte: A autora (2018).

6.2. CENÁRIO 2: DEMANDA INTERMEDIÁRIA

No Cenário 2 considerou-se a demanda de 50% da quantidade ofertada pelos pontos de coleta. Nesse cenário foram abertas fábricas em Ananindeua, Barcarena, Benevides, Marituba, Castanhal, Bujaru, Inhangapi e Santa Izabel do Pará logo no primeiro período de análise; e em Santa Barbara do Pará no quarto período de análise. Nos demais (2, 3 e 5) não foi necessário abrir nenhuma facilidade. Confrontando-se o resultado obtido no Cenário 1, nota-se que a fábrica de Santo Antônio do Tauá não foi aberta, mas Marituba passou a funcionar desde o primeiro período e Santa Bárbara do Pará foi aberta com um período de antecedência.

A quantidade de biomassa, em toneladas, produzida nos municípios que abrangeram as fábricas em cada intervalo de tempo analisado está representada na Tabela 8. É válido destacar que Marituba trabalhou menos no terceiro período e não precisou produzir nada no quarto.



Tabela 8. Quantidade de biomassa produzida por cada facilidade aberta no Cenário 2

| FÁBRICA | PERÍODO DE PLANEJAMENTO | | | | |
|-----------------------|-------------------------|---------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ananindeua | 328,375 | 875,825 | 1125 | 845,75 | 268,212 |
| Barcarena | 0 | 0 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Benevides | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Marituba | 1125 | 1125 | 298,312 | 0 | 1125 |
| Santa Barbara do Pará | - | - | - | 1125 | 1125 |
| Castanhal | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 |
| Bujaru | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Inhangapi | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 |
| Santa Izabel do Pará | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |

Fonte: A autora (2018).

A Tabela 9 mostra as capacidades de processamento de cada uma das facilidades abertas e o quanto foram utilizadas. A de Ananindeua foi a única que não funcionou em nenhum período na sua capacidade máxima, como pode-se verificar na Tabela 8.

Tabela 9. Utilização da capacidade de processamento em cada uma das facilidades (Cenário 2)

| Fábrica | Capacidade | % Máx. Utilização |
|-----------------------|------------|-------------------|
| Ananindeua | 1125 | 77,9% |
| Barcarena | 1125 | 100,0% |
| Benevides | 1125 | 100,0% |
| Marituba | 1125 | 100,0% |
| Santa Barbara do Pará | 1125 | 100,0% |
| Castanhal | 7500 | 100,0% |
| Bujaru | 1125 | 100,0% |
| Inhangapi | 7500 | 100,0% |
| Santa Izabel do Pará | 1125 | 100,0% |

Fonte: A autora (2018).

Ao contrário do que foi visto no Cenário 1, neste duas fábricas já utilizaram os estoques: em Benevides e em Inhangapi. A primeira estocou 20,825 toneladas no período 2, utilizando 20,8% de sua capacidade de armazenamento; já a segunda 24,4175 toneladas no período 4, o equivalente a 24,4% da capacidade.



6.3. CENÁRIO 3: DEMANDA INTERMEDIÁRIA

O Cenário 3 - que considera a demanda de 70% em relação à quantidade ofertada pelos pontos de coleta - não retornou solução viável, em função de uma maior necessidade de capacidade de estoque. Com a retirada da restrição da capacidade de estoque (Equação 5), a solução ótima contemplou a abertura de fábricas em Ananindeua, Marituba, Santa Barbara do Pará, Castanhal, Bujaru, Inhangapi e Santa Izabel do Pará no primeiro período de planejamento; em Benevides no segundo e em Barcarena no quinto (último).

A quantidade de biomassa, em toneladas, produzida nos municípios que abrangeram as fábricas em cada intervalo de tempo analisado está representada na Tabela 10. A fábrica de Santa Barbara do Pará não precisou processar nada no segundo período para suprir as necessidades de demanda.

Tabela 10. Quantidade de biomassa produzida por cada facilidade aberta no Cenário 3

| FÁBRICA | PERÍODO DE PLANEJAMENTO | | | | |
|-----------------------|-------------------------|---------|------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ananindeua | 328,375 | 875,825 | 1125 | 845,75 | 268,212 |
| Barcarena | - | - | - | - | 1125 |
| Benevides | - | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Marituba | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Santa Barbara do Pará | 1125 | 0 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Castanhal | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 |
| Bujaru | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Inhangapi | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 |
| Santa Izabel do Pará | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |

Fonte: A autora (2018).

A Tabela 11 mostra as capacidades de processamento de cada uma das facilidades abertas e o quanto foram utilizadas. Novamente a de Ananindeua foi a única que não funcionou em nenhum período com sua capacidade máxima.



Tabela 11. Utilização da capacidade de processamento em cada uma das facilidades (Cenário 3)

| Fábrica | Capacidade | % Máx. Utilização |
|-----------------------|------------|-------------------|
| Ananindeua | 1125 | 77,9% |
| Barcarena | 1125 | 100,0% |
| Benevides | 1125 | 100,0% |
| Marituba | 1125 | 100,0% |
| Santa Barbara do Pará | 1125 | 100,0% |
| Castanhal | 7500 | 100,0% |
| Bujaru | 1125 | 100,0% |
| Inhangapi | 7500 | 100,0% |
| Santa Izabel do Pará | 1125 | 100,0% |

Fonte: A autora (2018).

A Tabela 12 representa os resultados obtidos no que diz respeito ao estoque. Nota-se o uso de capacidades muito além das disponíveis. Isso mostra que as fábricas de Castanhal e Inhangapi apresentam grande importância relativa, necessitando produzir mais nos períodos de picos de demanda. Uma alternativa em relação ao aumento da capacidade de estoque seria também o aumento da capacidade de processamento.

Tabela 12. Utilização de estoque no Cenário 3

| Fábrica | Período de Planejamento | | | | | Capacidade | % Máx. Utilização |
|-----------|-------------------------|---|---------|---------|---|------------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| Castanhal | 0 | 0 | 0 | 1492,38 | 0 | 100 | 1492,4% |
| Inhangapi | 0 | 0 | 1362,67 | 1593,92 | 0 | 100 | 1593,9% |

Fonte: A autora (2018).

6.4. CENÁRIO 4: ALTA DEMANDA

No cenário 4 considerou-se uma demanda significativamente alta: 100% em relação à quantidade ofertada pelos pontos de coleta. Já era possível imaginar resultados não satisfatórios, visto que há perda de quantidade no processo de conversão do bagaço para biomassa (o rendimento da fábrica não é 100%). No entanto, tal teste foi realizado para identificar qual seria o comportamento do mercado em uma situação de demanda em excesso.

Foram abertas fábricas em Ananindeua, Barcarena, Benevides, Marituba, Santa Barbara do Pará, Castanhal, Bujaru, Inhangapi e Santa Izabel do Pará; todas no período 1.



A quantidade de biomassa, em toneladas, produzida nos municípios que abrangeram as fábricas em cada intervalo de tempo analisado está representada na Tabela 13.

Tabela 13. Quantidade de biomassa produzida por cada facilidade aberta no Cenário 4

| FÁBRICA | PERÍODO DE PLANEJAMENTO | | | | |
|-----------------------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ananindeua | 1125 | 477,54 | 1125 | 1125 | 268,213 |
| Barcarena | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Benevides | 1125 | 0 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Marituba | 0 | 1125 | 1125 | 488,428 | 1125 |
| Santa Barbara do Pará | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 | 1125 |
| Castanhal | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 | 7500 |
| Bujaru | 1125 | 1026 | 1052,68 | 1080,05 | 1125 |
| Inhangapi | 6703,37 | 6872,28 | 5620,63 | 7500 | 7500 |
| Santa Izabel do Pará | 0 | 1125 | 1125 | 402,272 | 1125 |

Fonte: A autora (2018).

As capacidades de processamento de cada uma das facilidades abertas foram utilizadas em sua totalidade em pelo menos 2 períodos de análise. Barcarena e Castanhal, por exemplo, operaram com suas capacidades máximas em todos os períodos.

Mais uma vez, mostrou-se necessário uma capacidade de estocagem muito além da utilizada nas fábricas representadas na Tabela 14. Logo foi necessário retirar a restrição de capacidade de estocagem para que a solução fosse viabilizada. Isso ocorreu devido à necessidade de manter estoques para entregas futuras.

Tabela 14. Utilização de estoque no Cenário 4

| Fábrica | Período de Planejamento | | | | | Capacidade | % Máx. Utilização |
|-----------------------|-------------------------|---------|---------|---------|---|------------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| Ananindeua | | 477,54 | | | | 100 | 477,5% |
| Barcarena | | 1125 | | | | 100 | 1125,0% |
| Marituba | | 1125 | | | | 100 | 1125,0% |
| Santa Barbara do Pará | | 1125 | | | | 100 | 1125,0% |
| Inhangapi | 3965,37 | 2165,35 | 5253,98 | | | 100 | 5254,0% |
| Santa Izabel do Pará | | | | 402,272 | | 100 | 402,3% |

Fonte: A autora (2018).



Confirmando o que já era esperado, nesse caso a oferta não foi suficiente para atender a demanda e um custo de falta teve que ser considerado. Faltou entrega em Rotterdam no último período. Nesse modelo, então, foi considerada uma nova variável além das existentes descrita como a entrega não realizada ao cliente j no período t , a qual se deu o nome de $falta_{jt}$.

Com isso, a restrição que representa a entrega da biomassa do açaí (Equação 3) foi reformulada nesse cenário especificamente, passando a ser definida pela Equação 22 e o valor encontrado para a variável $falta_{jt}$ foi de 10327.

$$\sum_{i \in I} x_{ijt} + falta_{jt} = d_{jt} \quad \forall j \in J, \quad t \in T \quad (22)$$



7. CONCLUSÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, em vigor desde 2010, incentivou a implantação e a prática de diversos programas voltados ao aproveitamento desse tipo de resíduo. No entanto, no caso da cadeia produtiva do açaí, o potencial de revalorização de resíduos tem sido subaproveitado. A reinserção do bagaço do açaí em ciclos produtivos promete trazer inúmeros benefícios econômicos, ambientais e sociais para o estado do Pará.

O presente trabalho engloba um tema ainda não muito explorado na literatura, que é a cadeia de suprimento reversa do açaí, o que culminou na dificuldade de obtenção de dados concretos e fundamentais para a implementação do modelo estratégico e na impossibilidade da realização de testes computacionais utilizando o modelo tático.

É válido mencionar que, apesar de citado na revisão de literatura, o crescimento da produção do açaí influenciado pelo Programa Pró-Açaí não está sendo considerado nesse contexto, visto que o presente trabalho faz uso apenas de dados da produção por extrativismo, não englobada na proposta do programa. Por esse motivo, sugere-se para um estudo futuro além do estudo aprofundado acerca do modelo tático, a criação de um modelo estratégico mais robusto, que agregue todos os tipos de processos de produção de açaí e não apenas a extração vegetal e que ainda englobe outras regiões do estado do Pará, além da metropolitana.

Do ponto de vista da modelagem matemática, as seguintes considerações podem ser destacadas:

- Não foi aberta nenhuma fábrica de armazenamento e beneficiamento de biomassa do açaí na cidade de Belém. Possivelmente isso se deve ao fato que o custo para se implantar uma facilidade na capital do Pará não deve ser empregado para uma fábrica com capacidade de processamento de apenas 3750 toneladas;
- Em Santo Antônio do Tauá só é viável abrir uma facilidade caso a demanda por biomassa não seja elevada;
- Em todos os cenários, a maior parte das fábricas operou com capacidade máxima;
- As fábricas devem investir em espaço para estocagem, visto que em cenários com alta demanda foi necessário excluir a restrição de capacidade de estocagem para encontrar solução viável;
- Uma alternativa em relação ao aumento da capacidade de estoque seria também o aumento da capacidade de processamento. Sugere-se, também para trabalhos futuros,



a criação de outros cenários ou ainda uma análise de viabilidade técnica e econômica para averiguar mais detalhes dessas possibilidades;

- Castanhal e Inhangapi são cidades mais propensas à abertura de facilidades, pois necessitaram produzir mais nos períodos de picos de demanda. Além disso, em todos os cenários estudados, ambas foram abertas logo no primeiro período de planejamento.



8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGHEZZAF, E. **Capacity planning and warehouse location in supply chains with uncertain demands**. 2005. Journal of the Operational Research Society, v. 56, n. 4, p. 453–462.

ALMEIDA, A. V. C.; MELO, I. M.; PINHEIRO, I. S.; FREITAS, J. F.; MELO, A. C. S. **Revalorização do caroço de açaí em uma beneficiadora de polpas do município de Ananindeua/PA: proposta de estruturação de um canal reverso orientado pela PNRS e logística reversa**. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, Ano 12, n° 3, jul-set/2017, p. 59-83.

ALMEIDA, M.; FERREIRA, E. **Aproveitamento de resíduos sólidos urbanos e outros rejeitos para conservação da energia elétrica**. Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP. Disponível em: <<https://goo.gl/sZUK8t>>. Acesso em: 02 set. 2017.

AMARAL, M.; ALMEIDA, M.S.; MORABITO, R. **Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação**. Gestão & Produção, São Carlos, 2012. v. 19, n. 4, p.717-732.

ANEEL. **Biomassa**. Atlas de Energia Elétrica do Brasil/ Agência Nacional de Energia Elétrica. 2.ed. Brasília, 2005. p.65. Disponível em: <<https://goo.gl/5D4cJr>>. Acesso em: 02 set. 2017.

_____. **Biomassa**. Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, 2002. Disponível em: <<https://goo.gl/BXfJNX>> . Acesso em: 02 set. 2017.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2007.

AVABEL. **Caroço de açaí pode virar fonte de energia**. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/ExRoxq>>. Acesso em: 18 jun.2017.

ÁVILA, D. F.; GRIEBELER, M. P. D. **Logística reversa: um diferencial competitivo para as organizações**. Revista de Administração. v. 1. 2013. p. 65-82.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. **Modelling and Simulation. Operations management research methodologies using quantitative modeling**. 2002. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 22 No. 2, 2002.

BRANDÃO, C. R. F.; BARROS, A. L.; LAMEIRA, C. C. **O açaí no estado do Pará e seu potencial para o desenvolvimento sustentável da região**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Graduandos em Agronomia. Universidade Federal Rural Amazônia. UFRA. Belém. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/GLpVRM>>. Acesso em: 20 set. 2017.



BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Disponível em: <<https://goo.gl/6qCVUf>>. Acesso em: 10 set. 2017.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Biomassa e Bioenergia.** Disponível em: <<https://goo.gl/pcG4wi>>. Acesso em: 17 jun 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Açaí sustentável no Pará.** Disponível em: <<https://goo.gl/MpXeKf>>. Acesso em: 17 jun 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Disponível em: <<https://goo.gl/bCRXkj>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

CARDOSO, B. **Uso da Biomassa como Alternativa Energética.** Bacharel em Engenharia Elétrica. Rio de Janeiro. 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/yB23mE>>. Acesso em: 20 set.2017.

CARNEIRO, J.; CAVALCANTE, B.; SILVA, M.; SILVA, R. **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.

CAVANHA, A. **Logística: novos modelos** . Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001. 78p.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Açaí (fruto): período de 01 a 31/03/2014.** 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/wrvuju>>. Acesso em: 20 set. 2017.

CORTEZ, L.; LORA, E.; GÓMEZ, E. **Biomassa para energia.** Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. 2008, p.15. Disponível em: <<https://goo.gl/HAXszC>>. Acesso em: 20 set. 2017.

COUTO, M. C. L. **Modelo logístico para localização de instalações destinadas à logística reversa de embalagens pós-consumo.** 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG, Minas Gerais, p.62, 2017.

ELACHER, W.; OLIVEIRA, F.; SILVA, D.; QUARESMA, M.; CHRISTO, B. **Caroço de açaí triturado fresco na formulação de substrato para a produção de mudas de hortaliças brássicas.** Enciclopédia Biosfera. Centro Científico Conhecer. Goiânia, v.10, n.18, p. 2930-2940. jul. 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/a7WX6S>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Açaí.** Belém. 2005. Disponível em:<<https://goo.gl/ys1LfS>>. Acesso em: 10 set. 2017.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Lançado em Belém programa para expansão da cadeia do açaí.** Disponível em: <<https://goo.gl/njZAJg>>. Acesso em: 17 jun. 2017.



ESCOBAR, J. F. **O Potencial da produção de pallets de madeira para geração de energia no Brasil. Oportunidades, desafios e perspectivas futuras.** Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014. p. 27. Disponível em: <<https://goo.gl/3JUSkQ>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

FARINAS, C.; SANTOS, R.; NETO, V.; PESSOA, J. **Aproveitamento do Caroço do Açaí como Substrato para a Produção de Enzimas por Fermentação em Estado Sólido.** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 15 p. Disponível em: <<https://goo.gl/53EADF>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

FERRI, G. L. ; CHAVES, G. L. D. ; RIBEIRO, G. M. . **Análise e localização de centros de armazenamento e triagem de resíduos sólidos urbanos para a rede de logística reversa: um estudo de caso no município de São Mateus, ES.** Produção (São Paulo. Impresso), v. 25, p. 27-42, 2015.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Commodities: Demanda por energia no Brasil vai crescer mais que a da China.** São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/wXQXeZ>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

FONTOURA, C. F.; BRANDÃO, L. E.. **Avaliação de Projeto de Investimento em Usina Termelétrica à Capim-Elefante: Uma Abordagem pela Teoria de Opções Reais.** Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro UCRJ. Rio de Janeiro, 2011. 86p.

FOURER, R.; GAY, D. M.; KERNIGHAN, B. W. **AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming.** Cole Publishing Company, 2002.

GONÇALVES, T. B. L.; FEIJO, J. L.; SANTOS JUNIOR, E. C.; ROCHA, C. I. L. **Análise da cadeia produtiva do açaí: uma abordagem voltada ao estudo dos componentes de desempenho logístico.** ENEGEP, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção e Extração Vegetal e da silvicultura.** v. 25. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<https://goo.gl/ksMaUy>>. Acesso em: 25 jun. 2017.

JUNQUEIRA, A. A. ; BASSO, V. M. ; SOUZA, N. D. . **Evolução da produção de açaí no período de 2004 a 2015.** In: I Semana de Aperfeiçoamento em Engenharia Florestal, Curitiba, 2017.

KOBAL, A. B. *et al.* **O setor produtivo de eletroeletrônicos e a logística reversa de seus produtos pós-consumo.** Produto & Produção, v. 15, n. 2. 2014. p. 46–65,.

MELO, A. C. S.; OLIVEIRA, F. E. ; VALE, I. M. ; RODRIGUES, N. A. C. ; MORICONI, N.A . **Estudo da utilização de big bags na movimentação e armazenagem de caroços de açaí úmidos em uma empresa de biomassa do Estado do Pará.** In: 1º EINEPRO -Encontro Interestadual de Engenharia de Produção, São João da Barra, 2015. **Anais ...**São João da Barra.



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira.** Campinas. 2005. Disponível em: <<https://goo.gl/ZCiynB>>. Acesso em: 27 mai. 2018.

MORABITO, R.; PUREZA, V. **Modelagem e Simulação.** In: MIGUEL, P. A. C. Metodologia de Pesquisa em engenharia de produção e Gestão de Operações. Rio de Janeiro: Campus, 2012. p. 169-186.

MORICONI, N.; BARBOSA, R. F.; MELO, A. C.; MARTINS, V.W. **Melhoria de serviços logísticos em uma beneficiadora de caroços de açaí com fins energéticos: uma proposta baseada em componentes logísticos e ferramentas da qualidade.** In: XXIII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2016, Bauru. **Anais ...** São Paulo.

OLIVEIRA, Maria do Socorro Padilha de. NETO, João Tomé de Farias. PENA, Ronielson da Silva. **Açaí: técnicas de cultivo e processamento.** Fortaleza. 2007. Instituto Frutal. 104 p.

PADILHA, J. L.; CANTO, S. A. E.; RENDEIRO, G. **Avaliação do Potencial dos Caroços de Açaí para Geração de Energia.** Biomassa & Energia v. 2, p. 231–239, 2006.

PAGLIARUSSI, Marina Sanches. DOS SANTOS, Maristela Oliveira. PESSOA, José Dalton Cruz. **Planejamento da produção na cadeia produtiva agroindustrial do açaí.** Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. Disponível em: <<https://goo.gl/2Go3RT>>. Acesso em: 10 set. 2017.

PERDONÁ, R. **Aproveitamento Energético de Resíduos e Biomassa.** Odebrecht Agroindustrial. 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/adLqWs>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

PEREIRA, A. S. **Uso de pellets de madeira para fins energéticos: pesquisa de mercado.** 2017. 65 f., il. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Florestal)— Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

PORTAL BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Em 2016, biomassa é a segunda maior fonte de energia.** 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/e9pQ3U>>. Acesso em: 20 set. 2018.

ROGEZ, H. **Açaí: preparo, composição e melhoramento da conservação.** Associação de Docentes Universidade Federal do Pará – ADUFPA. Belém. 2000. 313p.

SAITER, O. **Utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia para a secagem de grãos de Coffea canephora var. Conilon.** 2008. 19 f. Monografia (Título de Engenheiro Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

SÃO PAULO. Secretaria de Energia e Mineração. **Biomassa representa 8,8% da matriz elétrica do Brasil. São Paulo, 2016.** Disponível em: <<https://goo.gl/t7W7T2>>. Acesso em: 20 jun. 2017.



SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE.
Boletim: Produção Nacional de Açaí. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/WdvJYZ>>.
Acesso em: 10 jun. 2018.

SILVA, E.; MENEZES, E. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 4. ed.
Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: <<https://goo.gl/Uvwbfh>>. Acesso em: 27 mai.
2018.

SILVA, L. F.; ALMEIDA, A.V.; MELO, A. C.; NUNES, D. R. **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.** In: XXIII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2016, Bauru. **Anais ...** São Paulo.

SOUZA, C.; PEDROSO, L.; JUNIOR, M. SHIMOYA, A.; MELO, A. **Demandas atuais e futuras da biomassa e energia renovável no Brasil e no mundo.** Encontro Fluminense de Engenharia de Produção – ENFEPRO. Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2016.
Disponível em: <<https://goo.gl/STNZSL>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

TINOCO, A. C. **Açaí amazônico: novas perspectivas de negócio.** Embrapa Amazônia Oriental. Trabalho apresentado no Workshop Regional do Açaizeiro: pesquisa, produção e comercialização. Belém, 2005.

VALE, I.; MORICONI, N. **Melhoria de serviços logísticos em uma empresa de beneficiamento de caroços de açaí com fins energéticos: uma proposta baseada em componentes logísticos e ferramentas da qualidade.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade do Estado do Pará.

VALENTIM, M. **Planejamento Tático e Operacional.** Marília. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/rMJHDv>>. Acesso em: 02 jul. 2018.

VIDAL, A.; HORA, A.. **Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 33, p. 261-314, mar. 2011.

XAVIER, D.; SOUZA, R.; SEYE, O.; BACELLAR, A.; SANTOS, E.; FREITAS, K.; RODRIGUES, M.; MORAIS, M.; GUIMARÃES, E. **O beneficiamento do açaí no projeto modelo de negócio de energia elétrica em comunidades isoladas na Amazônia – NERAM.** Pesquisadores vinculados ao Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico – CDEAM, Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Manaus. Disponível em: <<https://goo.gl/BqntQD>>. Acesso em: 25 jun. 2017.