

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS**

**ANÁLISE AMBIENTAL DO USO DA FIBRA DE *Ananas erectifolius* (CURAUÁ)
NA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS PARA USO INDUSTRIAL**

Andréia Cavalcante Portela

**Dourados-MS
2023**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

ANÁLISE AMBIENTAL DO USO DA FIBRA DE *Ananas erectifolius* (CURAUÁ)
NA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS PARA USO INDUSTRIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal da Grande Dourados – Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Economia, para obtenção do Título de Mestre em Agronegócios.

Discente: Andreia Cavalcante Portela

Orientador: Dr. Clandio Favarini Ruviano

Coorientadora: Dr^a. Simone da Silva

Coorientador: Dr. Henrique L. Maranduba

Dourados-MS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

P843a Portela, Andreia Cavalcante

ANÁLISE AMBIENTAL DO USO DA FIBRA DE Ananas erectifolius (CURAUÁ) NA
PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS PARA USO INDUSTRIAL [recurso eletrônico] / Andreia
Cavalcante Portela. -- 2023.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Clandio Favarini Ruviaro.

Coorientadores: Simone da Silva, Henrique Leonardo Maranduba.

Dissertação (Mestrado em Agronegócios)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Amazônia. 2. Bioeconomia. 3. Fibras Vegetais. 4. Impactos Ambientais. I. Ruviaro, Clandio Favarini. II. Silva, Simone Da. III. Maranduba, Henrique Leonardo. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA POR ANDREIA CAVALCANTE PORTELA, ALUNA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM AGRONEGÓCIOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO "AGRONEGÓCIOS E SUSTENTABILIDADE".

Aos dezesseis dias do mês de maio do ano de dois mil e vinte e três, às nove horas, em sessão pública, realizou-se na Universidade Federal da Grande Dourados, a Defesa de Dissertação de Mestrado intitulada "**ANÁLISE AMBIENTAL DO USO DA FIBRA DE *Ananas erectifolius* (CURAUÁ) NA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS PARA USO INDUSTRIAL**", apresentada pela mestranda Andreia Cavalcante Portela, do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, à Banca Examinadora constituída pelos membros: Prof. Dr. Clandio Favarini Ruviaro/UFGD (presidente/orientador), Prof. Dr. Joao Augusto Rossi Borges/UFGD (membro titular interno), Prof. Dr. Jaylton Bonacina de Araujo/UTFPR (membro titular externo). Iniciados os trabalhos, a presidência deu a conhecer ao candidato e aos integrantes da banca as normas a serem observadas na apresentação da Dissertação. Após a candidata ter apresentado a sua Dissertação, os componentes da Banca Examinadora fizeram suas arguições. Terminada a Defesa, a Banca Examinadora, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo sido a candidata considerada APROVADA. O Presidente da Banca atesta a participação dos membros que estiveram presentes de forma remota, conforme declarações anexas. Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Dourados/MS, 16 de maio de 2023.

Documento assinado digitalmente
gov.br CLANDIO FAVARINI RUVIARO
Data: 18/05/2023 09:57:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Clandio Favarini Ruviaro
Presidente/orientador

Prof. Dr. Joao Augusto Rossi Borges
Membro Titular Interno
(Participação Remota)

Prof. Dr. Jaylton Bonacina de Araujo
Membro Titular Externo
(Participação Remota)

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho ao meu eterno pai, à minha mãe, aos meus irmãos e aos demais familiares e amigos. Amo muito vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores, Dra. Simone da Silva, Dr. Clandio Ruviaro e Dr. Henrique Maranduba pela oportunidade, aprendizado e paciência.

Agradecimento especial a Dra. Madalena Maria Schlindwein por todo o apoio no início do curso e suporte que me foi prestado na cidade de Dourados.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio-PPGAgronegócio, por todo conhecimento transmitido, dedicação e amor pela docência.

Aos professores que aceitaram e participaram da banca de defesa de dissertação: Prof. Dr. João Augusto Rossi Borges, ao Prof. Dr. Jaylton Bonacina de Araújo e a Prof^a Dr^a Juliana Rosa Carrijo Mauad.

Aos servidores da Secretaria do PPGAgronegócio, por todo suporte durante os dois anos de curso.

Aos amigos do PPGAgronegócio, que me ajudaram desde o início nessa jornada, especialmente, Mauricio Kubo, Ana Delai, Marcelo Chaves, Helena Leite, Camila, Daniely e aos demais.

A SUFRAMA por conceder o afastamento para eu cursar o mestrado. Agradeço ao Cel. Amaral, aos colegas, Flávio Ramos, Antônio Almeida e Cleiton Gama por todas as informações fornecidas.

Ao Centro de Bionegócios da Amazônia – CBA pela oportunidade, colaboração e confiança. Especialmente ao Gestor Fábio Calderaro e aos pesquisadores Flávio Freitas e Felipe Padilha.

Ao Instituto de Tecnologia da Amazônia – FIT, parceiro fundamental para o desenvolvimento da metodologia aplicada no trabalho. Agradecimento especial à Dra. Isabel Dinola por acreditar no potencial das fibras amazônicas.

Ao pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Dr. Osmar Lameira por ter me recebido e por todas as orientações sobre o cultivo do curauá.

Agradeço à empresa Rubberon, na pessoa dos Engenheiros Eliezer Silva e Felipe Nicoletti por toda ajuda na fase industrial do trabalho.

Gratidão eterna à minha amiga e irmã que a vida me deu, Silvana Martins e ao amigo Ronaldo Santos por toda ajuda, carinho e parceria.

Aos meus irmãos por me apoiarem e entenderem os momentos de ausência. Sem vocês não teria chegado até aqui.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Objetivo geral	14
1.2. Objetivos específicos	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Bioeconomia e seus conceitos	15
2.2. Compósitos de base biológica ou ecocompósitos	16
2.3. Fibras vegetais	17
2.4. Uso de fibras vegetais em compósitos	19
2.5. Fibra de Curauá	21
2.6. Visão geral da Avaliação do Ciclo de Vida – ACV	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1. Caracterização de Processos, Fluxos Mássicos e Energéticos	24
3.1.1. Fase agrícola.....	24
3.1.2. Produção de Fibra.....	26
3.1.3. Fase industrial	27
3.2. Inventário dos processos agrícola e industrial	29
3.3. Avaliação de impactos ambientais da produção de compósitos poliméricos utilizando fibra de curauá	33
3.3.1. Métodos de avaliação de impacto do ciclo de vida	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. Compósitos	38
4.2. Cadeia da fibra	42
4.3. Análise de sensibilidade	45
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE I	55
APÊNDICE II	56
APÊNDICE III	58

ANÁLISE AMBIENTAL DO USO DA FIBRA DE *Ananas erectifolius* (CURAUÁ) NA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS PARA USO INDUSTRIAL

RESUMO - A bioeconomia pode levar à substituição gradual de matérias-primas de base fóssil e recursos não renováveis por biomassa e recursos biológicos renováveis. Os de compósitos poliméricos, reforçados com fibras naturais, tem recebido destaque como tecnologia alternativa para o processamento de novos materiais que proporcionem um menor impacto ambiental. A utilização das fibras vegetais para a confecção de produtos menos impactantes ao meio ambiente surge como alternativa ambientalmente e economicamente promissora em regiões como a Amazônia. Dentre as fibras vegetais que têm despertado interesse em diversos setores industriais, está a fibra de uma planta originária da região amazônica do Brasil, o curauá (*Ananas erectifolius*). Nesse contexto, o objetivo geral deste estudo foi avaliar os impactos ambientais ao longo da cadeia produtiva do curauá para o uso da sua fibra em compósitos poliméricos utilizados na indústria. Para isso, foi produzido um compósito utilizando 5% de fibra de curauá e 95% de polietileno de baixa densidade (PEBD) e outro compósito com 5% de fibra de curauá e 95% de polietileno de alta densidade (PEAD). Para avaliação dos impactos potenciais foi utilizada a ferramenta da Avaliação do Ciclo de Vida do berço ao portão, ou seja, desde a produção das mudas até a produção dos compósitos. Os resultados mostraram que, de forma geral, o compósito 1 (curauá + PEBD) e o compósito 2 (curauá + PEAD) apresentaram impacto potencial semelhantes. No processo de produção da fibra, os maiores impactos ambientais foram registrados nas etapas de produção de mudas e na etapa de desfibramento. A análise de sensibilidade relacionada a produção dos compósitos, mostrou um impacto potencial na categoria de uso da terra ao aumentar a concentração de fibra, devido a necessidade de uma maior área de plantio para a extração de fibra. Quanto a análise de sensibilidade de diferentes concentrações de mucilagem, mostrou que os impactos relativos poderiam ser reduzidos em até 80%, caso se utilizasse uma planta com potencial de fornecimento maior de fibra. Apesar do baixo impacto ambiental relacionado aos dois compósitos, a produção de fibra de curauá mostrou-se pouco promissora sob o ponto de vista ambiental, devido à grande quantidade de mucilagem proveniente do desfibramento. Futuros estudos relacionados à produção de fibras de curauá devem levar em consideração aproveitamento dos resíduos.

Palavras-chave: Amazônia, Bioeconomia, Fibras Vegetais, Impactos Ambientais.

ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF THE FIBER FROM *Ananas erectifolius* (CURAUÁ) IN THE COMPOSITES FOR INDUSTRIAL USE

ABSTRACT – The bioeconomy can lead to the gradual replacement of fossil-based raw materials and non-renewable resources by biomass and renewable biological resources. Polymeric composites, reinforced with natural fibers, have been highlighted as an alternative technology for processing new materials that provide less environmental impact. The use of plant fibers to make products that have less impact on the environment is an environmentally and economically promising alternative in regions such as the Amazon. Among the plant fibers that have aroused interest in various industrial sectors is the fiber from a plant originating in the Amazon region of Brazil, the curauá (*Ananas erectifolius*). In this context, the general objective of this study was to evaluate the environmental impacts along the curauá production chain for the use of its fiber in polymeric composites used in industry. For this, a composite was produced using 5% curauá fiber and 95% low density polyethylene (LDPE) and another composite with 5% curauá fiber and 95% high density polyethylene (HDPE). In order to assess the potential impacts, the Life Cycle Assessment tool from cradle to gate was used, that is, from the production of seedlings to the production of composites. The results showed that, in general, composite 1 (curauá + LDPE) and composite 2 (curauá + HDPE) had similar potential impacts. In the fiber production process, the greatest environmental impacts were registered in the seedling production stages and in the defibering stage. The sensitivity analysis related to the production of composites showed a potential impact on the land use category by increasing the fiber concentration, due to the need for a larger planting area for fiber extraction. As for the sensitivity analysis of different concentrations of mucilage, it showed that the relative impacts could be reduced by up to 80%, if a plant with a potential for greater fiber supply was used. Despite the low environmental impact related to the two composites, the production of curauá fiber proved to be unpromising from an environmental point of view, due to the large amount of mucilage resulting from shredding. Future studies related to the production of curauá fibers should take into account the use of residues.

Keywords: Amazon, Bioeconomy, Plant Fibers, Environmental Impacts.

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida
CBA	Centro de Bionegócios da Amazônia
CO ₂	Dióxido de carbono
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FIT	Instituto de Tecnologia da Amazônia
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILCD	International Reference Life Cycle Data System
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPEA	Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas
ISO	International Organization for Standardization
Kg CO ₂ -eq	Quilo de gás carbônico equivalente
Kg oil - eq	Quilo de óleo equivalente
Kg P -eq	Quilo de fósforo equivalente
Kg SO ₂ -eq	Quilo de dióxido de enxofre
M ₂ /ano	Metro quadrado por ano
M ₃	Metro cúbico
MJ-eq	Mega Joule equivalente
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (atualmente MCTI)
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organizações das Nações Unidas
PIM	Polo Industrial de Manaus
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
SUFRAMA	Superintendência da Zona Franca de Manaus
WWF	World Wildlife Fund

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparação da densidade e das propriedades mecânicas (resistência à tração e módulo de Elasticidade) apresentado por fibras sintéticas e vegetais.	19
Tabela 2. Inventário da produção de mudas em laboratório, produzidas de acordo com (GATO et al., 2018) para produção de 25.000 mudas.	30
Tabela 3. Inventário do cultivo de 1 hectare de planta de curauá (25.000 plantas).....	32
Tabela 4. Inventário do processo de desfibramento de 25.000 plantas de curauá, aproximadamente 7.500 kg de fibra.	32
Tabela 5. Inventário do processo de extrusão para a produção de 2 kg de compósitos. 32	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Importação brasileira de juta nos anos de 2020 e 2021.	18
Figura 2. Propriedades comparativas de compostos de fibras naturais/polipropileno na razão padrão de 50/50.....	20
Figura 3. Etapas da produção da fibra de curauá.....	26
Figura 4. Símbolos de Identificação dos Plásticos. Cartilha de reciclabilidade do plástico pós-consumo. (ABIPLAST, 2015).	28
Figura 5. Etapas da produção de compósitos.	29
Figura 6. Localização geográfica do Polo Industrial de Manaus – PIM, em Manaus – AM.....	34
Figura 7. Fluxograma do sistema de produção dos compósitos utilizando fibra de curauá e polietileno.....	35
Figura 8. Análise de Contribuição do processo de produção do compósito 1.....	39
Figura 9. Análise de Contribuição do processo de produção do compósito 2.....	39
Figura 10. Análise Comparativa entre os impactos ambientais do ciclo de vida dos Compósito 1 e Compósito 2.	41
Figura 11. Análise de Comparação com incerteza entre o compósito 1 (curauá + PEBD) e o compósito 2 (curauá + PEAD).....	42
Figura 12. Análise de Contribuição do processo de produção de fibra de curauá, considerando as etapas existentes no ciclo de vida.	43
Figura 13. Análise de Contribuição do processo de produção de mudas de planta de curauá.....	44
Figura 14. Análise de Contribuição do processo de desfibramento, considerando os fluxos mássicos e energéticos.....	45
Figura 15. Análise de sensibilidade entre diferentes índices de fibra de curauá na produção do compósito (fibra de curauá + PEBD).	46
Figura 16. Análise de sensibilidade de diferentes concentrações de mucilagem oriunda do desfibramento.	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Metodologia para realizar a avaliação do ciclo de vida.	23
Quadro 2. Categorias de impacto e indicadores de categoria.	36

1. INTRODUÇÃO

Na busca por materiais mais sustentáveis, a bioeconomia tem sido vista como uma oportunidade para a agricultura brasileira utilizar e aprimorar todo o seu potencial de multifuncionalidade. A Bioeconomia fortalece a relação entre agricultura e indústria, tornando-as parte do mesmo processo, aportando maior valor agregado para agricultura, com potencial para contribuir com o desenvolvimento econômico do país (IPEA, 2017).

O desenvolvimento de uma bioeconomia ao nível do produto representa oportunidades de melhoria ao longo das várias fases dos fluxos de recursos existentes, trocando material e energia de combustíveis fósseis com fontes de origem biológica (BRACCO *et al.*, 2019). A bioeconomia atua para equilibrar os fluxos de oferta e demanda por insumos, produtos e bem-estar entre a natureza e a sociedade, assim como o fluxo de resíduos que impacta a capacidade de absorção e processamento pela natureza (SANTANA, 2021).

A bioeconomia ganhou força entre os discursos mais amplos de desenvolvimento sustentável, transição ecológica e economia circular, levando muitas indústrias a considerarem formas de operação mais sustentáveis. Nos últimos anos, muito se tem falado e escrito sobre o mercado potencial e os benefícios comerciais derivados da adaptação de tecnologias de fabricação para torná-las menos impactante ao meio ambiente (BÁNKUTI; BÁNKUTI, 2014).

Em todo o mundo, mais de 400 milhões de toneladas de plástico são produzidas a cada ano. Desse total, destacam-se as embalagens, com 158 milhões de toneladas, que representam mais de um terço de todo o plástico produzido, seguidas pela área da construção civil — 71 milhões de toneladas — e a área têxtil, com 62 milhões de toneladas (FUNDAÇÃO HEINRICH BÖLL BRASIL, 2020).

O Brasil, segundo dados do Banco Mundial, é o 4º maior produtor de lixo plástico no mundo, com 11,3 milhões de toneladas, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia. Desse total, mais de 10,3 milhões de toneladas foram coletadas (91%), mas apenas 145 mil toneladas (1,28%) foram efetivamente recicladas (WWF 2019).

Devido ao crescente interesse por alternativas de desenvolvimento sustentável, as atividades econômicas de base orgânica, que promovam a conciliação entre a conservação do ambiente e a utilização econômica sustentada dos recursos naturais, são muito mais valorizadas (ARAÚJO; PEREIRA, 2017).

Nesse sentido, o desenvolvimento de compósitos poliméricos¹, reforçados com fibras naturais, tem recebido destaque como tecnologia alternativa para o processamento de novos materiais que proporcionem um menor impacto ambiental, associando baixa densidade, biodegradabilidade e propriedades mecânicas de interesse industrial (WEARN; MONTAGNA; PASSADOR, 2020).

Diante desse contexto, a utilização das fibras vegetais para a confecção de produtos menos impactantes ao meio ambiente surge como alternativa ambientalmente e economicamente promissora em regiões como a Amazônia. Por serem produtos de grande versatilidade e inúmeras possibilidades, aproximam-se bastante dos critérios da sustentabilidade — biodegradáveis, absorvem CO₂, geram renda em regiões menos desenvolvidas — e por isso são portadoras de enorme capital ecológico (FRAXE; FERREIRA, 2018).

Dentre os substitutos das fibras artificiais, a fibra de *Ananas erectifolius* (curauá), originária da Amazônia brasileira, é um dos que têm despertado interesse em diversos setores industriais que querem expandir o uso e/ou a produção de compósitos de fibras naturais. A fibra de curauá destaca-se por apresentar alta resistência, em comparação às demais fibras vegetais comumente estudadas, como juta e sisal (Tabela 1). Seu módulo de elasticidade, específico em relação à densidade, é melhor do que em outras fibras, e suas propriedades mecânicas são semelhantes às fibras de polipropileno (TEIXEIRA, 2015).

Na busca por matérias-primas que pudessem compor matrizes poliméricas de produtos produzidos no Polo Industrial de Manaus – PIM, o Centro de Bionegócios da Amazônia – CBA, iniciou pesquisas com o curauá, tendo como objetivo tornar o potencial da planta mais conhecido, incentivando, assim, o plantio em escala industrial. Além da utilização como matéria prima para a produção de novos materiais, a fibra de curauá também poderá ser usada pela indústria de sacarias do Amazonas, que atualmente importa fibra vegetal oriunda de Bangladesh (BRASIL, 2021).

Visando contribuir com as pesquisas na busca por novos materiais utilizando matéria-prima oriunda da Amazônia, com potencial de aplicação industrial, e que apresentem um menor impacto ao meio ambiente no fim de vida, surge o seguinte questionamento: a adição de fibra de curauá (*Ananas erectifolius*) em compósitos poliméricos traz benefícios sob o ponto de vista de sua aplicação na indústria,

¹ Materiais formados pela combinação em escala macroscópica de dois ou mais materiais distintos.

considerando o desempenho ambiental do ciclo de vida de produtos que utilizem estes compósitos?

1.1. Objetivo geral

Avaliar os impactos ambientais ao longo da cadeia produtiva do curauá para o uso da sua fibra em compósitos poliméricos utilizados na indústria.

1.2. Objetivos específicos

- a) Caracterizar processos e fluxos mássicos e energéticos relacionados às etapas de produção agrícola (curauá) e industrial (compósito);
- b) Inventariar o processo agrícola do curauá, a produção de fibra e o processo de industrialização dos compósitos;
- c) Avaliar os impactos ambientais da fase agrícola, do desfibramento e da fase industrial da produção de compósitos poliméricos utilizando fibra de curauá.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Bioeconomia e seus conceitos

O conceito de bioeconomia tem sido foco de debates nos últimos anos. De modo geral, vários países, ao elaborarem suas estratégias de bioeconomia, focam na exploração dos recursos biológicos renováveis e no desenvolvimento e uso de conhecimentos científicos e tecnológicos, como eixos da promoção do desenvolvimento sustentável (MCTIC, 2018).

As primeiras concepções e usos do termo “Bioeconomia” por instituições como a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e a União Europeia (UE) foram voltados à transição energética de economias dependentes de combustíveis fósseis para modelos baseados em insumos biológicos de origem agrícola, e não necessariamente biodiversas (COSTA *et al.*, 2022).

Bugge; Hansen; Klitkou, (2016), após estudo bibliométrico, destacaram três visões de bioeconomia: **visão biotecnológica**, onde o objetivo principal é a aplicação comercial de produtos derivados de biotecnologia; **visão biorrecursos** que promove a produção e o processamento de biomassa com vistas à substituição de matérias-primas fósseis; e, por fim, **visão bioecológica** que destaca a importância de processos ecológicos que otimizem o uso de energia e nutrientes e promoção da biodiversidade.

De forma similar, Vivien et al., (2019), apresentaram três principais narrativas sobre o termo Bioeconomia: o ecológico, que considera os limites da biosfera; o biotecnológico que é baseado nas possibilidades de avanço científico, particularmente no desenvolvimento da biotecnologia; e o biorrefinarias que é orientado pela ideia de que a biomassa substituirá matérias-primas e combustíveis fósseis.

Nos Estados Unidos da América (EUA), em 2012, a bioeconomia foi definida como “atividades econômicas impulsionadas pelo uso de pesquisa e inovação nas ciências biológicas” (THE WHITE HOUSE, 2012, p.1). A OCDE, que reconhece a existência de diferentes definições em uso no mundo, adota a de que o termo significa “uma série de atividades econômicas em que a biotecnologia contribui centralmente para produção primária e a indústria, especialmente em casos em que ciências biológicas avançadas são aplicadas para a conversão de biomassa em materiais químicos e combustível” (PHILP; WINICKOFF, 2019, p.9).

A OCDE publicou uma agenda de políticas para a Bioeconomia, onde destacou os vários fatores externos que impulsionarão a bioeconomia até 2030: o aumento da

população e da renda *per capita*, particularmente nos países em desenvolvimento; o aumento da procura de energia limpa, que poderia criar grandes mercados para os biocombustíveis, e o aumento esperado das populações idosas, que aumentará a necessidade de terapias para tratar as doenças, algumas das quais serão baseadas na biotecnologia (OECD, 2009).

No Brasil, o termo já vem sendo trabalhado pelo governo federal em diferentes ministérios. O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) definiu bioeconomia como “o conjunto de atividades econômicas baseadas na utilização sustentável e inovadora de recursos biológicos renováveis (biomassa), em substituição às matérias-primas fósseis, para a produção de alimentos, rações, materiais, produtos químicos, combustíveis e energia produzidos por meio de processos biológicos, químicos, termoquímicos ou físicos, promovendo a saúde, o desenvolvimento sustentável, o crescimento nacional e o bem-estar da população” (MCTIC, 2018, p. 12)

A bioeconomia é realidade no Brasil desde a década de 1970, quando foi criado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Recentemente a bioeconomia passou a ser identificada como um paradigma produtivo e reprodutivo relacionado a biomas de alta diversidade biológica, como as florestas tropicais, em especial a Amazônia. Entretanto, suas características divergem de uma bioeconomia voltada prioritariamente para uma transição energética e valorizam diversidades sociais, culturais e biológicas (COSTA *et al.*, 2022).

O Estado do Amazonas estipula seu conceito de bioeconomia como “o conjunto de atividades econômicas de produção, fomento à produção, distribuição e consumo de bens e serviços provenientes de recursos da sociobiodiversidade amazônica de forma sustentável e inovadora” (AMAZONAS, 2021).

Baseado nos conceitos da bioeconomia biotecnológica e de biorrecursos, este trabalho objetiva verificar o impacto ambiental do uso da biomassa de curauá em compósitos poliméricos para uso industrial.

2.2. Compósitos de base biológica ou ecocompósitos

Um compósito é definido como um sistema de dois componentes, onde dois materiais diferentes são integrados para produzir um novo tipo de material com funcionalidade aprimorada. Dois componentes importantes são normalmente denominados como "matriz" e "reforço". Os compósitos consistem em diferentes

reforços que podem ser naturais ou sintéticos. Entre os reforços, as fibras naturais são comumente demandadas na indústria de compósitos poliméricos devido às crescentes preocupações ambientais.

Devido aos problemas enfrentados na indústria do petróleo – em especial aspectos ambientais e climáticos – há um avanço em buscar alternativas nos bioprodutos como caminho para a substituição da cadeia de origem fóssil (FILHO; SANFELICE, 2018).

Uma dessas alternativas para a substituição do petróleo na produção de plásticos tem sido a utilização de biomassa. Esses materiais, também chamados de polímeros *bio-based*, são plásticos feitos parcial ou totalmente a partir de materiais derivados de fontes biológicas, como cana-de-açúcar, amido de batata ou celulose vinda de árvores e palha de vegetais (PINTO, 2020).

Compósitos de base biológica são a combinação de dois ou mais materiais de diversas propriedades físicas e químicas, resultando na formação de um compósito que eventualmente tem melhores condições do que os materiais com os quais foi feito. Possuem maior resistência e rigidez; assim, eles podem ser empregados em diferentes aplicações, como no setor automobilístico, na indústria da construção e nas carcaças eletrônicas (REDDY *et al.*, 2016).

A tendência emergente para a produção e uso de bioplásticos, resinas de base biológica e materiais fibrosos para preparação de compósitos resultou em melhorias significativas na qualidade e aplicabilidade dos compósitos de base biológica (INNOVATIVE INDUSTRY, 2020). Diversos materiais de base biológica são usados para produzir compósitos de base biológica, a exemplo de decks de madeira, materiais de madeira absorventes de som, interior de banheiros, caixilhos de janelas, acabamentos decorativos, painéis automotivos e aplicações industriais.

A base dessa dissertação é estudar compósitos de polietileno de alta e de baixa densidade com fibras de curauá em diferentes proporções.

2.3. Fibras vegetais

O Brasil se destaca na produção de diversas fibras naturais, sendo o maior produtor mundial de Sisal (*Agave sisalana*), com destaque para o estado da Bahia na exportação de fibras têxteis vegetais (exceto algodão e juta) em bruto, que em 2020

exportou mais de 37,6 Milhões de dólares, tendo como maior comprador a China (BRASIL, 2021).

Na região Norte do país, destaca-se o cultivo da juta e da malva, uma atividade econômica de grande valor para o setor primário do Amazonas, configurando-se em fonte de renda para milhares de famílias, que abastecem com fibras, fios e sacarias as indústrias nacionais (TEIXEIRA, 2015). Apesar de ser o maior produtor de fibra de malva e de juta no Brasil (IBGE, 2021), o Amazonas não consegue suprir as demandas do mercado, precisando importar juta de Bangladesh. Em 2020, o Pará importou o valor de US\$ 4,54 Milhões, e o Amazonas importou o valor de US\$ 470 mil. Em 2021, esses valores foram praticamente os mesmos, conforme Figura 1 (MDIC, 2021). Esses dados mostram a existência de mercado para a produção de fibras vegetais na região.

Figura 1. Importação brasileira de juta nos anos de 2020 e 2021.

Países	UF do Produto	2021 – Valor FOB (US\$)	2020 – Valor FOB (US\$)
Bangladesh	Pará	\$5.868,016	\$4.544.502
Bangladesh	Amazonas	\$426.582	\$470.293
China	Pernambuco	0	\$15

Fonte: Comexstat (MDIC).

Dentre as plantas com potencial para extração de fibra, destaca-se o curauá, uma bromeliácea de origem amazônica cuja principal utilização no agronegócio é a produção de fibras naturais que podem ser empregadas nos setores automobilísticos, papelaria, indústria têxtil e construção civil (GATO *et al.*, 2018).

A Tabela 1 mostra um comparativo das propriedades mecânicas entre as fibras vegetais e as fibras sintéticas, ressaltando o alto atrativo que as primeiras possuem em termos de densidade, o que torna possível produzir materiais que combinam boa resistência mecânica com baixo peso.

Tabela 1. Comparação da densidade e das propriedades mecânicas (resistência à tração e módulo de Elasticidade) apresentado por fibras sintéticas e vegetais.

	Fibra	Densidade g/cm³	Resistência à tração (Mpa)	Módulo de Elasticidade (Gpa)	Referência
<i>Sintética</i>	Vidro	2,50 – 2,58	2000 – 3450	70 – 73	(Costa <i>et al.</i> , 2020)
	Aramida	1,44	300 – 4100	63 – 131	
	Carbono	1,78 – 1,81	2500 – 6350	230 – 400	
<i>Natural</i>	Curauá (<i>A. erectifolius</i>)	0,57 – 0,92	514 – 2113	27 – 151	(Costa <i>et al.</i> , 2020) e (Freitas <i>et al.</i> , 2022)
	Ramie (<i>B. nivea</i>)	1,50	400 – 1620	61 – 128	(Costa <i>et al.</i> , 2020)
	Juta (<i>C. capsularis</i>)	1,30 – 1,45	393 – 800	13 – 27	
	Sisal (<i>A. sisalana</i>)	1,26 – 1,50	287 – 913	9 – 28	
	Abacaxi (<i>A. comosus</i>)	1,32 – 1,54	413 – 1627	34.5 – 82.5	(Karimah <i>et al.</i> , 2021)

Fonte: Própria autoria adaptado de diversos autores.

De acordo com os dados da Tabela 1, o curauá é uma das fibras mais leves. Não apenas em relação às fibras sintéticas, mas também em relação às principais fibras naturais. Essa característica da fibra de curauá a coloca em destaque para produção de compósitos na indústria automotiva visando a redução do peso dos automóveis.

2.4. Uso de fibras vegetais em compósitos

Ao longo do tempo, fibras naturais foram substituídas por fibras artificiais, e o sucesso das fibras sintéticas se deve principalmente ao baixo custo. Entretanto, surgiram também questões referentes à sustentabilidade do planeta, uso e esgotamento dos recursos naturais, e nesse sentido, é crescente a busca por novos materiais, preferencialmente os de origem natural (GONÇALVES *et al.*, 2018).

Celulose, hemicelulose e lignina são os três principais constituintes das fibras vegetais. Por esta razão, eles também são referidos como fibras celulósicas ou lignocelulósicas. A proporção desses componentes em uma fibra depende da idade, fonte da fibra e das condições de extração utilizadas para obter as fibras. A resistência da fibra pode ser um fator importante na seleção de uma fibra natural para uma aplicação específica (PEREIRA *et al.*, 2015).

Os chamados biocompósitos, feitos de materiais de base petroquímica e de recursos biológicos, levaram a avanços tecnológicos na fabricação de produtos mais

verdes produzidos de fibras vegetais e plásticos que estão sendo continuamente desenvolvidos (MOHANTY *et al.*, 2018).

Um bom exemplo de uso das fibras vegetais em compósitos vem da indústria automotiva e, de acordo com Zah *et al.*(2007), os compósitos com fibra de curauá tem um desempenho melhor do que outros compósitos de fibra natural e polipropileno na indústria automobilística, conforme Figura 2.

Figura 2. Propriedades comparativas de compostos de fibras naturais/polipropileno na razão padrão de 50/50.

Fibra	Resistência à tração (Mpa)	Módulo de Yong (Gpa)	Força Flexural (Mpa)	Módulo Flexural (Gpa)
Moldura	34.67	3.43	29.33	3.02
Juta	15.66	2.4	23.97	2.5
Curauá	46.58	3.78	33.1	2.51

Fonte: Apud. Zah *et al.*, (2007).

Ainda sobre a indústria automotiva, Bressiani Júnior *et al.* (2020) informam que os componentes de fibras vegetais chegam a pesar 40% menos que os constituídos exclusivamente por resinas plásticas. Além de serem um material reciclável, requerem pouca energia na termoformagem, proporcionando uma economia de até 55% graças à redução no tempo de aquecimento, com boa estabilidade térmica e dimensional.

Segundo Ramesh *et al.* (2020), a demanda e a utilização de fibras vegetais estão crescendo rapidamente e, com isso, a necessidade de alcançar a sustentabilidade em avaliação de impactos ambientais tem incitado a formação e expansão de biomateriais por meio do reforço de fibras vegetais.

A elevada disponibilidade de fibras lignocelulósicas, somada à necessidade de uma fonte renovável para a produção de polímeros, abre uma grande oportunidade para avanços tecnológicos que agreguem valor aos produtos da agroindústria e, ao mesmo tempo, atuem na fixação de carbono na natureza, além de auxiliar na redução da emissão de CO₂ na atmosfera e, dessa forma, estão alinhadas aos objetivos de desenvolvimento sustentável lançados pela Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente os objetivos 8, 9 e 12.

2.5. Fibra de Curauá

Dentre as principais fibras vegetais, a fibra da espécie *Ananas erectifolius* chama a atenção por ser descrita na literatura desde antes de 1960 como uma das fibras mais promissoras da Amazônia, devido a sua resistência, quando comparada com outras fibras em testes de tração (Tabela 1).

O expediente enviado ao Banco de Crédito da Amazônia pelo diretor de uma indústria, em 25/03/1966 (Apêndice I), informa as qualidades da fibra de curauá comparada com a fibra de sisal (BRASIL, 1966):

Procedendo testes de resistência de fio de curauá [...] o peso total de ruptura foi de 198 kilos, ou seja, que a média de resistência encontrada foi de 59,6 quilos.
Comparando equivalente grossura de fio de sisal submetido a igual operação, obteve uma média de resistência de 27,6 quilos. [...]
Cumpre-nos ainda informar que, antevemos a possibilidade de empregar o curauá em novas aplicações além do cabo comum, fiando-o em fio mais fino que o usual para cabos, e o qual teria outras aplicações industriais, mais rentosas.

O curauá é uma planta que demanda pouco nível tecnológico, dispensa grande quantidade de água para irrigação e cresce em solos de baixa fertilidade e ainda, suporta níveis de sombreamento, inclusive se desenvolvendo melhor (informação verbal)².

Segundo Silva, (2011) *Apud* Sena (2010), cada planta pode produzir anualmente até 48 folhas, perfazendo aproximadamente 3kg de peso verde. Considera ainda que 16 folhas de curauá pesam em média 1,0kg; desse modo, como cada planta produz em média 48 folhas/ano e o rendimento de fibra corresponde a 6% do peso verde da folha, conclui-se que o beneficiamento de 1 hectare de curauá produz 3.600kg de fibra e 60.000kg de mucilagem. Neves *et al* (2019), informa que cada planta produz cerca de 24 folhas, com comprimento entre 1 e 1,5m cada e um rendimento de fibra seca de aproximadamente 6% do seu peso verde. É propagado vegetativamente por meio de rebentos ou mudas produzidas pela própria planta e também pode ser propagado por meio dos filhotes que surgem na região apical do fruto, sob a coroa, ou ainda pelo plantio da própria coroa (SILVA, 2011). Além da propagação vegetativa, há a

² Informação fornecida pelo pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental (Pará), Dr. Osmar Lameira em visita realizada em novembro de 2021.

possibilidade da reprodução de mudas *in vitro*, quando se pretende alcançar uma determinada qualidade genética ou por falta de plantas mães para realizar a propagação vegetativa.

A fibra extraída das folhas combina alta resistência e leveza, possibilitando sua utilização em diferentes aplicações como, por exemplo, reforço em compósitos. O índice de finura da fibra e o baixo impacto ambiental, também são fatores que contribuem para o seu favoritismo entre outras fibras. Se levada em consideração a nano escala, o potencial da fibra curauá é ainda maior, comparável às fibras artificiais de alto desempenho. Esta característica recomenda a fibra para uso em muitas áreas diferentes, como composições têxteis, celulose e papel e para usar seus subprodutos para alguns itens muito valiosos, como enzimas bromelinas (LEAO *et al.*, 2017).

2.6. Visão geral da Avaliação do Ciclo de Vida – ACV

Em 1968, a percepção da crescente interdependência dos países do planeta e do uso dos recursos naturais serviu de estímulo a políticos, industriais e acadêmicos a fundarem o Clube de Roma, com objetivo maior de identificar os principais problemas que determinarão o futuro da humanidade. Em 1972, o grupo concretizou sua missão com o lançamento do estudo Limites do Crescimento, no qual há a previsão de cenários em que o mundo atingiria o colapso devido ao desequilíbrio entre o consumo e a oferta de recursos naturais ou se estabilizaria. Neste contexto, nasceu a Avaliação do Ciclo de Vida. O primeiro estudo que pode ser entendido como ACV foi realizado em 1965 nos Estados Unidos pela Coca-Cola, com o objetivo de identificar qual embalagem para refrigerantes teria as menores emissões e utilizaria menos recursos em sua fabricação (IBICT, 2015).

Em 1997, a Organização Internacional para a Padronização, ISO (International Organization for Standardization), lançou a ISO 14040 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. Uma série de outras normas foi publicada até a última, ISO 14044:2006 com os requisitos e orientações para a execução de um estudo ACV.

Segundo o *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook* (EUROPEAN COMMISSION, 2010) a ACV é um método estruturado, abrangente e internacionalmente padronizado. Ele quantifica todas as emissões e recursos

consumidos e seus impactos sobre o meio ambiente e a saúde e considera questões relacionadas ao esgotamento de recursos associados a quaisquer bens ou serviços.

As Normas Internacionais mais atualizadas para a implementação da ACV são as ISO 14040/2009 (Princípios e estrutura) e 14044/2009 (Requisitos e orientações), cada uma fornecendo diretrizes e uma estrutura para uma avaliação de alta qualidade.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da NBR ISO 14040 (2009) estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto (isto é, do “berço ao túmulo”), desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição. A ACV pode ser aplicada na identificação de oportunidades para melhorar os aspectos ambientais dos produtos; na tomada de decisões pelos gestores; na seleção de indicadores pertinentes de desempenho ambiental; e no marketing do produto.

Para realização do trabalho e a avaliação dos impactos ambientais, foi utilizada a metodologia de ACV padronizada ABNT/ISO 14040, que divide a ACV em quatro fases, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1. Metodologia para realizar a avaliação do ciclo de vida.

Passos		Fatores a serem considerados
1	Objetivo e Escopo	Definição dos limites do sistema (berço-berço, berço-portão, etc) Fixação da unidade funcional para o estudo Alocação a ser seguida
2	Análise de inventário	Selecionar e separar fontes primárias e secundárias de dados Dados e requisitos de qualidade de dados Tipo de pressupostos empregados ou a empregar Opções de valor e elementos opcionais Critérios de corte a serem empregados
3	Avaliação de impacto	Seleção das categorias de impacto e classificação Caracterização e etapas opcionais Normalização (opcional) Ponderação (Opcional) Metodologia de ACV a ser implementada
4	Interpretação	Revisão Crítica dos Resultados e Interpretação Análise de incerteza Elaboração do relatório final

Fonte: Própria autoria. Adaptado de Dahiya et al., (2020).

A ACV fornece uma imagem holística dos impactos ambientais de um produto e comparações entre os estágios da vida do produto. Em relação às ferramentas de medição da sustentabilidade, a Avaliação do Ciclo de Vida também pode ser uma técnica adequada, na medida em que pode explicar informações sobre o material, além de sua biodegradabilidade (BRACCO *et al.*, 2019).

Estudos recentes têm fornecido sugestões metodológicas sobre como a ACV pode ser melhorada para avaliar a sustentabilidade de sistemas de base biológica com um novo foco em sistemas emergentes, ajudando a identificar oportunidades ambientais e sociais antes de grandes investimentos em Pesquisas e Desenvolvimento (VAN DER GIESEN *et al.*, 2020).

Alguns estudos já foram realizados para demonstrar a qualidade da fibra de curauá quando comparado com outras fibras vegetais, porém, ainda não foi analisada sob a ótica da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) quando utilizada como reforço em um compósito, abrangendo todo o ciclo do produto, desde a extração dos insumos até a sua disposição final (compósito).

Nem todos os compósitos de fibras vegetais apresentam-se como ambientalmente menos impactantes. Korol *et. al.* (2016), compararam a ACV de compósitos de polipropileno misturados com fibras de vidro, algodão, juta e kenaf. Os compósitos de fibra de algodão exibiram o maior impacto ambiental total, ainda mais do que o da fibra de vidro, causado principalmente pela ocupação de terras agrícolas. Broeren *et al.* (2017) realizaram um estudo de ACV utilizando o sisal produzido na Bahia e o sisal produzido na Tanzânia. O resultado do trabalho mostrou que a emissão de gases do efeito estufa (GEE) na produção de sisal Tanzânia foi maior devido que na produção de sisal no Brasil, devido a quantidade de resíduos produzido no processo de desfibramento. Estudos como estes lançam luz sobre a consideração de muitos outros aspectos, além das opções de final de vida.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização de Processos, Fluxos Mássicos e Energéticos

3.1.1. Fase agrícola

3.1.1.1. Produção de mudas *in vitro*

A técnica de produção de mudas via cultura de tecidos consiste na regeneração de plantas completas (caule, folhas e raízes) a partir de gemas axilares de plantas matrizes selecionadas no campo, em plantios comerciais. A micropropagação é uma alternativa viável para a produção de mudas de curauá e pode ser um valioso instrumento na produção clonal dessa espécie ao permitir a obtenção de plantas em

escala comercial, com elevada qualidade genética e fitossanitária, além da produção de mudas isentas de pragas e doenças, em curto período de tempo (GATO *et al.*, 2018).

No presente estudo, as plantas utilizadas para produção da fibra foram produzidas no laboratório de cultura de tecido do Centro de Bionegócios da Amazônia – CBA, uma vez que não existem plantios comerciais da cultura e o CBA há anos vem trabalhando com a propagação da espécie.

Para produção das mudas o CBA utiliza a metodologia conforme Gato *et al.* (2018): O material utilizado como fonte de explantes foi coletado de plantas provenientes da área externa do Centro de Bionegócios da Amazônia – CBA. As plantas coletadas foram levadas para a recepção do laboratório para a primeira fase da assepsia, iniciando com a remoção das folhas e caules. Em seguida foram lavadas em água corrente e detergente neutro para remoção da sujeira superficial. Após a lavagem, foram removidas as gemas do caule e colocadas em um Becker de 500 mL contendo uma solução (5mL/2,5L) de hipoclorito de sódio por 17,45h sob agitação e logo após a retirada do agitador magnético, as gemas foram lavadas por três vezes em água destilada. Em seguida, o material foi colocado em Becker (100 mL de água destilada + 2mL de Tween) por 20 minutos, sob agitação.

A segunda fase de assepsia ocorreu em câmara de fluxo laminar e os procedimentos foram: lavagens sucessivas (3 vezes) em água destilada autoclavada por 1 minuto, em álcool 70% por 5 minutos e lavadas (3 vezes) em água destilada autoclavada, por 1 minuto. Em seguida, foram colocados em solução de hipoclorito de sódio 50% por 15 minutos posteriormente lavados em água destilada autoclavada por 1 minuto. Após o processo de desinfestação foram inoculadas 40 gemas por frascos de 250mL contendo 40mL de meio de cultivo MS (30g sacarose, 1,8g de phytigel e 950mL de água). Em seguida as culturas foram armazenadas em câmara incubadora para Demanda Bioquímica de Oxigênio e avaliadas a cada 5 dias, por 30 dias. No final desse período os frascos foram retirados da câmara e mantidos a $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sob fotoperíodo de 16 h de luz e intensidade luminosa de $50 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Após 60 dias de cultivo, os explantes foram avaliados quanto ao seu desenvolvimento.

Após a fase de desinfestação, inoculação, multiplicação, as plantas foram dispostas em tubetes (reutilizáveis) de 180cm^3 , para a fase de aclimatadas em casa de vegetação com retenção de luz (entre 50 e 70%) e temperatura média de 28°C e irrigação por micro aspersores, onde permaneceram por 5 meses. Após isso as plantas foram levadas a campo onde permaneceram por aproximadamente 12 meses.

A Tabela 2, mostra as entradas de material, consumo de água e de energia para a produção de 25.000 mudas.

3.1.1.2. Cultivo do Curauá

O curauá foi cultivado seguindo um padrão comum na região amazônica, onde a prática do corte e queima é realizada por grande parte dos agricultores para preparar o terreno e não se procedem a análise do solo, a calagem e a adubação de cova. Porém, na presente pesquisa foi utilizada no preparo da área a correção do solo (calagem) utilizando o calcário dolomítico. O uso do calcário dolomítico é recomendado, principalmente em solos com teor de magnésio (Mg) inferiores a $0,5 \text{ cmolc /dm}^3$. O cálculo da quantidade de calcário foi feito baseado na recomendação para o estado do Pará (EMBRAPA, 2020).

O plantio foi realizado em uma área localizada no Ramal do Areal, BR 174, km 14. Essa área fica a aproximadamente 45 km do CBA. Após o coveamento, feito com enxada numa profundidade suficiente para evitar o tombamento das mudas, foi realizado o plantio num espaçamento de 1,5m X 1,0m totalizando 25.000 plantas por hectare. Após um ano do plantio, as folhas de curauá, com tamanhos de aproximadamente 1 metro de comprimento, foram colhidas próximas ao caule, lavadas e pesadas. Tanto o plantio como os tratos culturais e a colheita foram realizadas de forma manual. Em relação aos tratos culturais, foram efetuadas duas capinas no ano.

3.1.2. Produção de Fibra

O desfibramento foi realizado no próprio CBA, utilizando-se uma decorticateira, máquina que utiliza um motor Honda GX160QD 5,5 CV 3600 rpm à gasolina, na qual a fibra foi introduzida por um técnico e puxada logo em seguida, reintroduzindo a mesma folha pela outra extremidade. Após esse processo, a fibra foi lavada em uma bacia contendo água da rede pública e sem qualquer tratamento para retirar o excesso de mucilagem. Esse procedimento se repete até que todas as folhas sejam desfibradas. Finalizando com a secagem da fibra, ao sol por dois a três dias, amaciadas manualmente e enfardadas. A figura 3 mostra as etapas desde a colheita até a secagem da fibra. A tabela 4, detalha o processo de desfibramento de 400 mudas.

Figura 3. Etapas da produção da fibra de curauá.



Colheita (a), folhas colhidas (b), lavagem das folhas (c), máquina desfibadora (d), lavagem das fibras (e), fibras secas após 48 a 72 horas de sol (f).

3.1.3. Fase industrial

3.1.3.1. Produção de compósitos

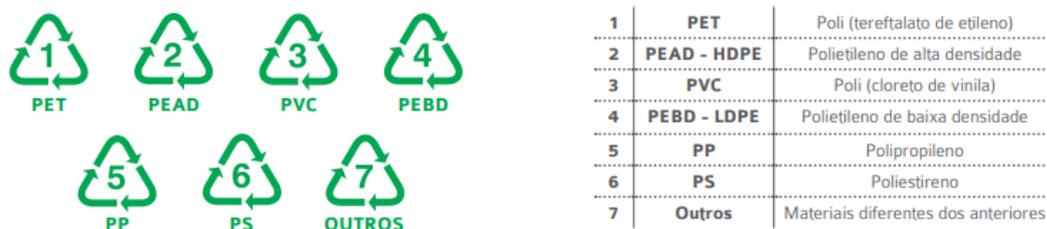
Para a produção dos compósitos foi utilizado como matriz o polietileno. Polietileno ou PE é um polímero plástico obtido do craqueamento catalítico do petróleo, o qual dá origem a nafta, de onde se extrai o monômero eteno que ao ser polimerizado resulta no polietileno. Tem o preço mais acessível das resinas plásticas e é a mais utilizada no mundo (PINTO, 2022).

O polietileno se divide em cinco: polietileno de alta densidade PEAD; polietileno de ultra alto peso molecular PEUAPM; polietileno de baixa densidade PEBD, o primeiro produzido no mundo; polietileno de baixa densidade linear PEBDL e o PEUBD - polietileno de ultrabaixa densidade (MELO, 2013).

Para produzir os compósitos foram utilizados dois tipos de polietileno: o polietileno de baixa densidade – PEBD e polietileno de alta densidade – PEAD, por oferecerem diferentes aplicabilidades e serem materiais muito sustentável, por ser termoplástico, ao ser submetido a sua temperatura de amolecimento pode ser

remoldado, formando uma nova peça plástica. Entre os cinco tipos, o PEBD e o PEAD são os únicos recicláveis, conforme mostra a figura 4, abaixo.

Figura 4. Símbolos de Identificação dos Plásticos. Cartilha de reciclabilidade do plástico pós-consumo. (ABIPLAST, 2015).



FONTE: Norma ABNT NBR 13230:2008

Após a escolha dos polímeros, as fibras foram cortadas em pedaços entre 2 e 5cm e transformadas em pó, utilizando o moinho de facas elétrico (Figura 5 a). Ressalta-se que a fibra foi transformada em pó para facilitar a miscibilidade entre os polímeros e a fibra.

A fibra em pó passou por uma peneira granulométrica, com 1,7 mm de diâmetro, e seca em estufa por 8 horas a 70 °C para a retirada da umidade estrutural. Após esse procedimento, 400g de fibra (Figura 5b) foram armazenados em um saco e levados à empresa Rubberon, no Distrito Industrial de Manaus, onde foi misturada com cada tipo de polietileno.

Foram utilizados 950 g de cada tipo de polietileno com 50 g de fibra em pó (Figura 5c). Para facilitar a mistura da fibra ao polímero (Figura 5d), foram adicionadas 3 gotas do óleo vegetal Agecon. Essa mistura foi feita de forma manual; porém, o ideal seria utilizar um misturador mecânico, que confere melhor homogeneidade no processo de fabricação, acarretando em melhores propriedades mecânicas ao compósito (PROTZEK, 2017).

Em seguida, a mistura foi processada em extrusora mono rosca laboratorial na temperatura aproximada de 180°C (Figura 5e), formando aproximadamente 1 kg de compósito (Figura 5f) para cada tipo de polímero, totalizando 2 kg de compósitos. Após esse processo, cada compósito foi levado para estufa a 65°C, por 8 horas para eliminação total de umidade.

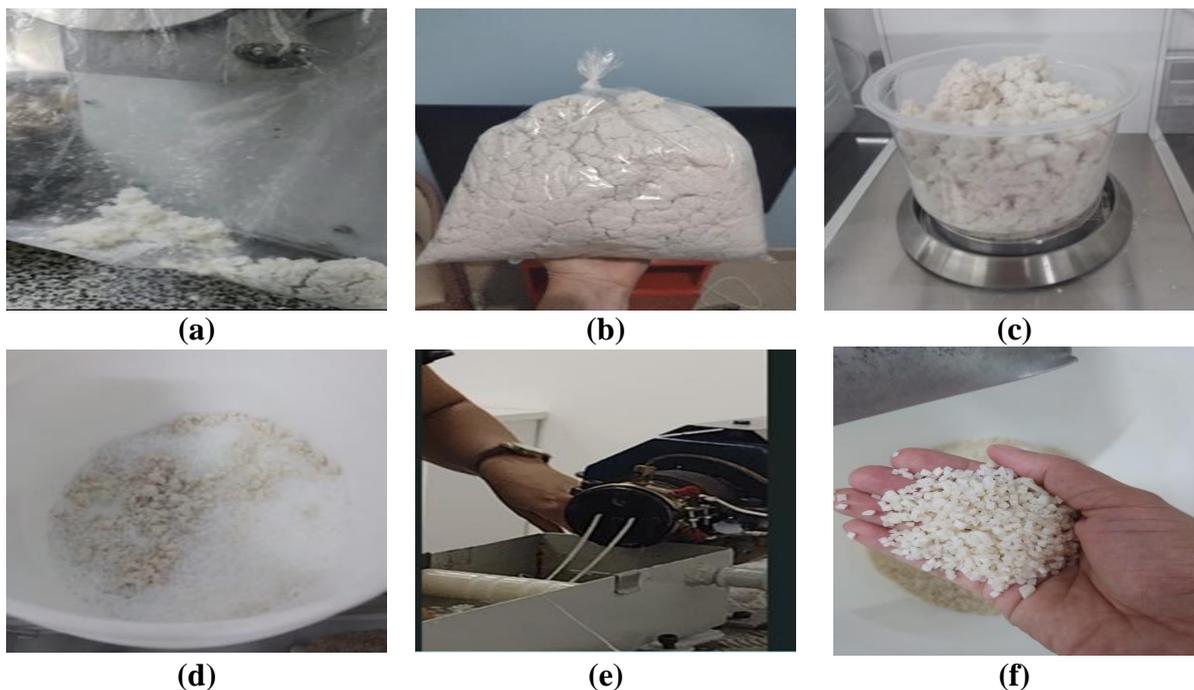


Figura 5. Etapas da produção de compósitos.

Transformação da fibra em pó (a), fibra de curauá moída (b), pesagem da fibra (c), mistura de polietileno e fibra de curauá (d), material sendo extrudado (e) e compósitos (5% de fibra e 95% de polietileno).

Nesta etapa, a fibra de curauá em pó foi levada para a fábrica de polímeros, misturada com cada polímero, essa mistura foi extrudada dando origem aos compósitos. A tabela 5 mostra as entradas no sistema de material, água e energia para produção de 2 kg de compósito (saída).

3.2. Inventário dos processos agrícola e industrial

O uso de tabelas de inventários foi a forma utilizada para detalhar as entradas e saídas, para cada uma das fases do processo. As Tabelas de 2 a 5 permitem obter uma visão global de todas as extrações e emissões para o ambiente, pelas quais a produção de 1kg de compósito foi responsável direta ou indiretamente.

Os dados do inventário dos processos agrícolas do curauá e da industrialização dos compósitos, iniciaram com a coleta dos dados da produção de mudas *in vitro* (tabela 2) preparo de área, plantio, colheita (Tabela 3) e desfibramento (Tabela 4). Na fase de desfibramento foram obtidas a fibra e a mucilagem, porém, no estudo a mucilagem foi descartada no aterro sanitário.

O levantamento dos dados da produção dos compósitos foi realizado na fábrica Rubberon, no Polo Industrial de Manaus, conforme descrito no tópico 3.1.3. e todo o material utilizado na produção, estão descritos na Tabela 5.

Foram utilizados dados da base de dados Ecoinvent 3.8 para os polietilenos usados na pesquisa. Os dados da produção de mudas foram fornecidos pelo CBA e os dados da produção da fibra foram mensurados na ocasião do desfibramento, na literatura e na análise realizada no laboratório da Universidade de São Paulo (Apêndice II) que constatou um percentual de 10 a 18% fibra na planta. No presente trabalho, o cálculo foi realizado considerando 10% de fibra em cada planta.

Os dados foram tabulados no Microsoft Excel e analisados no software SimaPro versão 9.4, software que contém vários métodos de avaliação de impacto, que são usados para calcular os resultados da avaliação de impacto. Atualmente, no SimaPro existem seis categorias de métodos:

1. Europeu: que inclui métodos abrangentes de Avaliação dos impactos do Ciclo de Vida - AICV focados no contexto europeu e, portanto, mais útil ao fazer estudos de Avaliação do Ciclo de Vida - ACV na Europa;
2. Global: que inclui métodos AICV abrangentes com escopo global, ou seja, ideais para aplicar em estudos com uma cadeia de valor global;
3. América do Norte: que inclui métodos desenvolvidos para a região da América do Norte;
4. Questão única: que abrange métodos que focam em uma única métrica ou área de impacto ambiental, exceto aqueles focados em água;
5. Pegada hídrica: que inclui métodos para avaliar apenas impactos relacionados à água; e
6. Substituídos: que incluem métodos desatualizados.

Tabela 2. Inventário da produção de mudas em laboratório, produzidas de acordo com Gato *et al.* (2018) para produção de 25.000 mudas.

DESINFESTAÇÃO			
Entradas	Unidade	Quantidade	Estimado/medido/ literatura
Detergente neutro	Litro	0,10	Medido
Transporte do Detergente neutro	Tkm	3,00E-04	Estimado
Tween 20 (POLISORBATO)	Litro	2,00E-03	Medido
Transporte do Tween 20	Tkm	6,00E-03	Estimado
Álcool 70%	Litro	1,00	Estimado
Transporte do Álcool 70%	Tkm	3,00E-03	Estimado

Solução de hipoclorito de sódio 50%	Litro	1,00	Estimado
Transporte do hipoclorito de sódio 50%	Tkm	3,00E-03	Estimado
Biocida de amplo espectro (PPM)	Litro	0,02	Estimado
Transporte do Biocida de amplo espectro	Tkm	6,00E-02	Estimado
Água da rede pública	Litro	40,00	Estimado
Água da rede pública	Litro	10,00	Estimado
Energia elétrica da rede (Autoclave)	kWh	2640,00	Estimado
Energia elétrica da rede (Destilador)	kWh	360,00	Estimado
Energia elétrica da rede (ar-condicionado)	kWh	36,54	Estimado

INOCULAÇÃO, MULTIPLICAÇÃO E ACLIMATIZAÇÃO

Entradas	Unidade	Quantidade	Estimado/me dido/ literatura
Sacarose	kg	0,03	Medido
Transporte da Sacarose	Tkm	9,00E-05	Estimado
Phytigel (agente gelificante à base de polissacarídeos naturais)	kg	0,018	Medido
Transporte do Phytigel	Tkm	5,40E-02	Estimado
Álcool 70%	Litro	1,00	Estimado
Transporte do Álcool 70%	Tkm	3,00E-03	Estimado
Bandeja de aclimatização com 50 células (PEBD)	kg	15,50	Estimado
Transporte do Bandeja de aclimatização com 50 células	Tkm	9,30E-02	Estimado
Substrato comercial à base de casca de pinus.	kg	0,60	Estimado
Transporte do Substrato comercial à base de casca de pinus.	Tkm	3,60E-03	Estimado
Sacos plásticos (PEBD)	kg	41,75	Estimado
Transporte do Sacos plásticos [PEBD]	Tkm	2,51E-01	Estimado
Água da rede pública	Litro	100,00	Estimado
Energia elétrica da rede (Agitador magnético)	kWh	2,82	Estimado
Energia elétrica da rede (Autoclave)	kWh	2640,00	Estimado
Energia elétrica da rede (Balança analítica)	kWh	2,00	Estimado
Energia elétrica da rede (Destilador)	kWh	360,00	Estimado
Energia elétrica da rede (Estufa)	kWh	792,20	Estimado
Energia elétrica da rede (Geladeira)	kWh	52,92	Estimado
Energia elétrica da rede (pHmetro)	kWh	4,00	Estimado
Energia elétrica da rede (Câmara de fluxo laminar)	kWh	422,40	Estimado
Energia elétrica da rede (Aspersores de baixa pressão)	kWh	79,50	Estimado
Energia elétrica da rede (Forno de micro-ondas)	kWh	13,00	Estimado
Energia elétrica da rede (freezer vertical)	kWh	42,26	Estimado
Energia elétrica da rede (Balança de precisão)	kWh	0,50	Estimado
Energia elétrica da rede (câmara incubadora BOD)	kWh	384,00	Estimado
Energia elétrica da rede (Placa aquecedora)	kWh	384,00	Estimado
Energia elétrica da rede (esterilizador de instrumentais)	kWh	64,80	Estimado
Energia elétrica da rede (Iluminação)	kWh	243,20	Estimado
Energia elétrica da rede (iluminação das estantes)	kWh	1344,00	Estimado
Energia elétrica da rede (computador e impressora)	kWh	2,40	Estimado
Energia elétrica da rede (Climatização do laboratório)	kWh	9865,80	Estimado
Saídas	Unidade	Quantidade	Estimado/me dido/ literatura
Sacos plásticos (resíduos para tratamento – reciclagem)	unid.	50	Estimado
MUDAS DE CURAUÁ (PRODUTO)	unid.	25000	Estimado

Tabela 3. Inventário do cultivo de 1 hectare de planta de curauá (25.000 plantas).

CULTIVO DE CURAUÁ				
Etapa	Entradas	Unidade	Quantidade	Estimado/medido/ literatura
Preparo da área	Transformação de área	ha	1,00	Literatura
Preparo da área	Ocupação de área	ha	1,00	Literatura
Preparo da área	Calcário dolomítico	ton.	3,00	Calculado
Plantio	Mudas de Curauá	unid.	25000	Estimado
Plantio	Transporte das Mudas de Curauá	tkm	3,94	Estimado
Plantio	Área preparada	ha	1,00	Estimado
Tratos culturais	Área plantada	ha	1,00	Estimado
Colheita	Área tratada	ha	1,00	Estimado
Saídas		Unidade	Quantidade	Estimado/medido/ literatura
Área plantada		ha	1,00	Estimado

Tabela 4. Inventário do processo de desfibramento de 25.000 plantas de curauá, aproximadamente 7.500 kg de fibra.

DESFIBRAMENTO				
Entradas	Unidade	Quantidade	Estimado/medido/ literatura	
Plantas de Curauá	unid.	25000	Estimado	
Transporte do Plantas de Curauá	Tkm	3,38E+03	Estimado	
Água da rede pública	Litro	2,16E+03	Estimado	
Gasolina	Litro	1,25E+03	Estimado	
Energia elétrica da rede (Iluminação da sala)	kWh	1,15E+01	Estimado	
Saídas	Unidade	Quantidade	Estimado/medido/ literatura	
FIBRA (produto final)	kg	7500,00	Estimado	
Mucilagem (resíduo para tratamento)	kg	67500,00	Estimado	

Tabela 5. Inventário do processo de extrusão para a produção de 2 kg de compósitos.

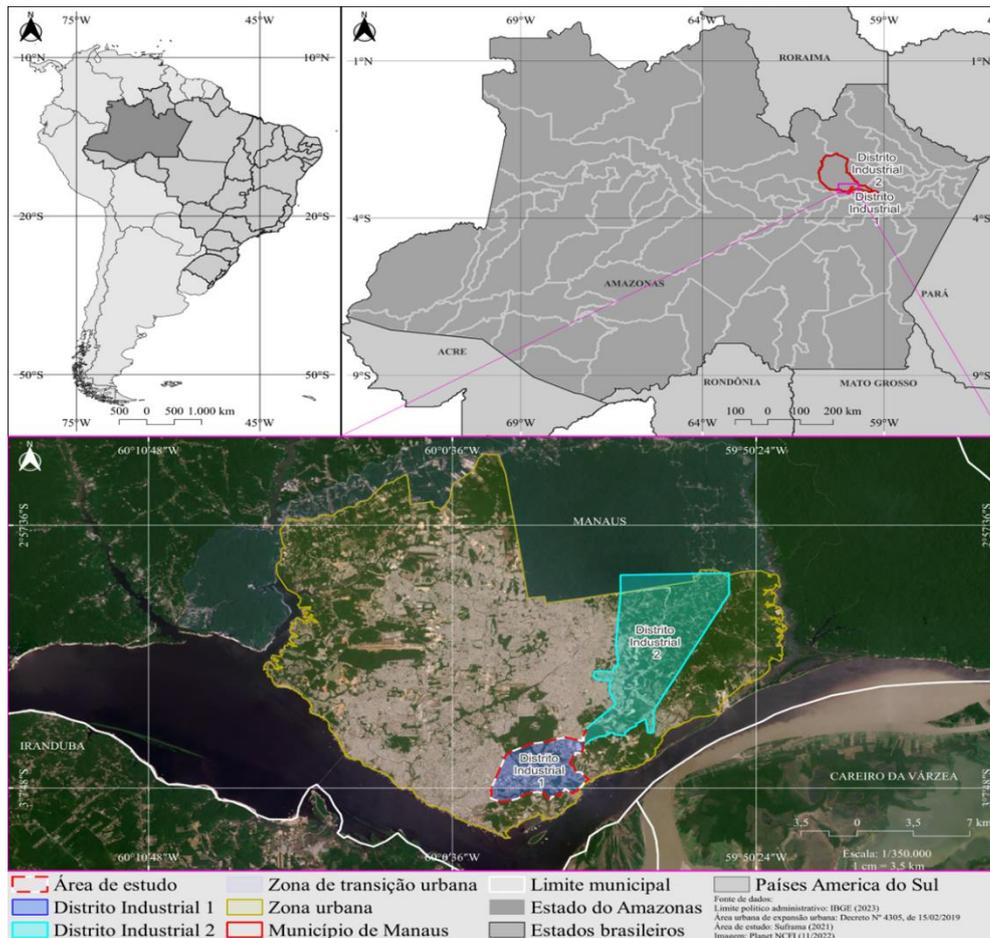
COMPÓSITOS				
Entradas	Unidade	Quantidade	Estimado/medido/ literatura	
Fibra em pó	kg	0,10	Medido	
Transporte do Fibra em pó	tkm	7,00E-04	Estimado	
Polietileno de baixa densidade (PEBD)	kg	0,95	Medido	
Transporte marítimo do Polietileno de baixa densidade	tkm	6,75	Estimado	
Transporte rodoviário do Polietileno de baixa densidade	tkm	0,01	Estimado	
Polietileno de alta densidade (PEAD)	kg	0,95	Medido	
Transporte marítimo do PEAD	Tkm	6,75	Estimado	

Transporte rodoviário do PEAD	Tkm	0,01	Estimado
Água da rede pública	litro	8,00	Medido
Energia elétrica da rede (Extrusora)	kWh	40,80	Medido
Energia elétrica da rede (Estufa)	kWh	26,40	Medido
Energia elétrica da rede (Moinho de facas)	kWh	3,20	Medido
Energia elétrica da rede (Iluminação)	kWh	6,40	Medido
Energia elétrica da rede (ar-condicionado)	kWh	32,00	Medido
Saídas	Unidade	Quantidade	Estimado/medido/ literatura
Compósito 1 (fibra + PEBD)	kg	1,00	Estimado
Compósito 2 (fibra + PEAD)	kg	1,00	Estimado

3.3. Avaliação de impactos ambientais da produção de compósitos poliméricos utilizando fibra de curauá

Com base na análise dos dados de inventário, o estudo pretendeu avaliar o desempenho ambiental de compósitos feito com polímeros oriundos de petróleo e a fibra de curauá. Tais compósitos foram produzidos em uma Indústria de Transformação de Polímeros instalada no Polo Industrial de Manaus – PIM, situado na cidade de Manaus-AM, área em vermelho no mapa da Figura 6. O PIM é uma área que possui um complexo industrial com aproximadamente 500 indústrias de alta tecnologia gerando mais de meio milhão de empregos, diretos e indiretos, principalmente nos segmentos eletroeletrônico, bens de informática e duas rodas. O PIM é administrado pela Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA, autarquia federal responsável pelas políticas de fortalecimento do PIM e pelo estímulo ao desenvolvimento de sua área de atuação, identificando potencialidades regionais e criando condições para transformá-las em oportunidades de negócios. Um desses estímulos é a Lei de Informática na Amazônia que tem como prerrogativa que todas as empresas que produzem bens e serviços de informática apliquem, anualmente, no mínimo 5% (cinco por cento) do seu faturamento bruto no mercado interno, decorrente da comercialização dos produtos incentivados, em atividades de pesquisa e desenvolvimento a serem realizadas na Amazônia (SUFRAMA,2022).

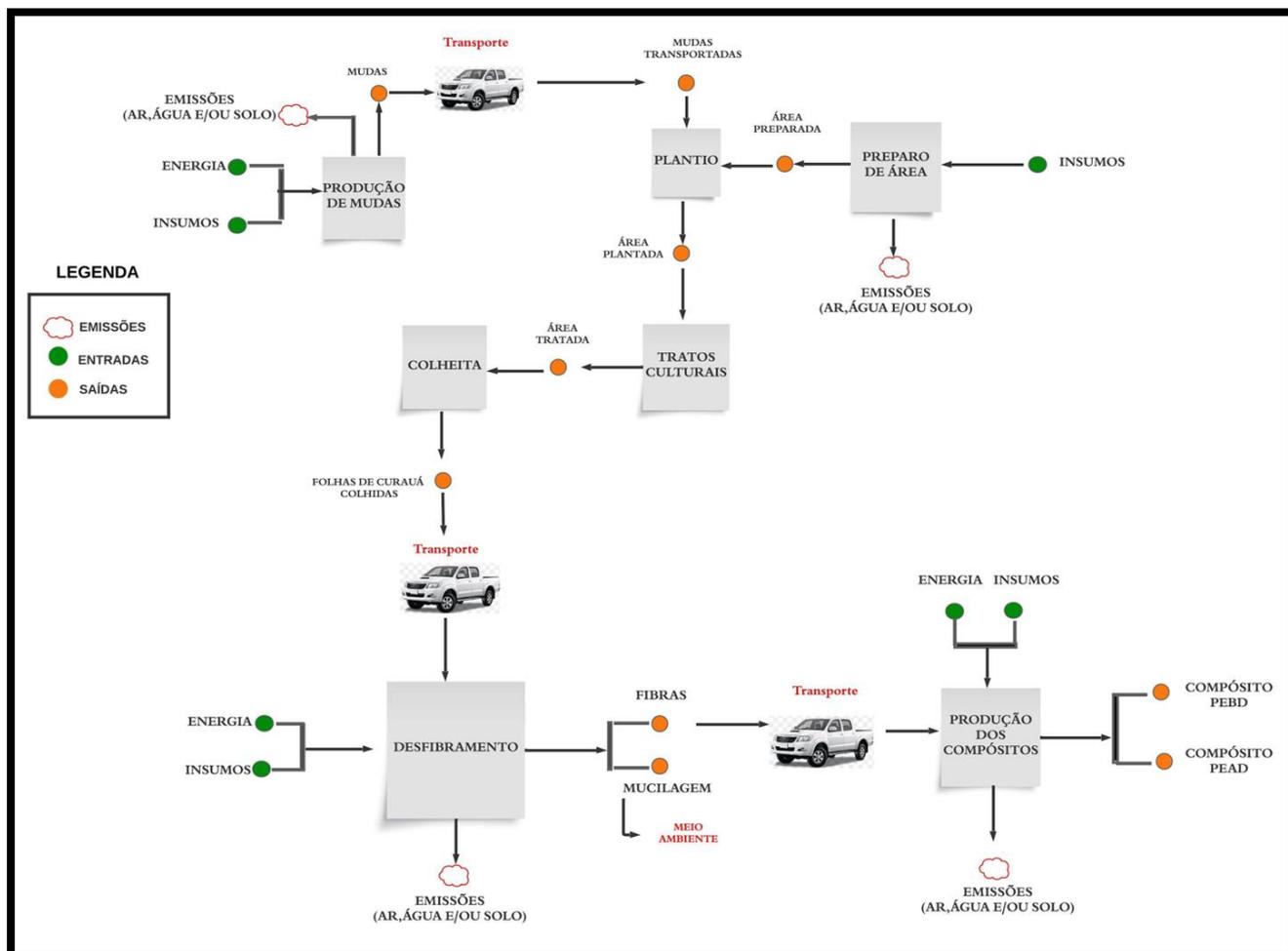
Figura 6. Localização geográfica do Polo Industrial de Manaus – PIM, em Manaus – AM.



Fonte: Coordenação Geral de Projetos Industriais – CGPRI/SUFRAMA

Os limites do sistema foram determinados do berço ao portão, ou seja, da produção das mudas no laboratório do CBA até a produção dos compósitos na fábrica, como mostra o fluxograma do sistema de produção (Figura 7). Os dados agrônômicos do curauá foram retirados da literatura, visto que, atualmente, não existem plantios implantados para coleta dos dados mais atuais, como manejo e adubação específicos para a cultura.

Figura 7. Fluxograma do sistema de produção dos compósitos utilizando fibra de curauá e polietileno.



Fonte: Própria autoria elaborado com dados do inventário.

A unidade funcional (UF) foi 2kg de compósito, sendo 1kg de fibra de curauá e o polietileno de baixa densidade; e um quilo de compósito de fibra de curauá e polietileno de alta densidade, prontos para venda pela indústria.

Os resultados obtidos serão destinados ao Centro de Bionegócios da Amazônia – CBA e ao Instituto de Tecnologia da Amazônia – FIT

3.3.1. Métodos de avaliação de impacto do ciclo de vida

A fase de Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida – AICV deve incluir os seguintes elementos obrigatórios: seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização; correlação dos resultados do Inventário do Ciclo

de Vida – ICV às categorias de impacto selecionadas (classificação); cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (caracterização).

No Quadro 2, foram classificadas 10 (dez) categorias de impactos, bem como suas unidades de medidas e o método utilizado para o cálculo do impacto de cada uma das categorias. E ainda, seus respectivos indicadores de categoria considerados mais relevantes para análise do processo de produção de fibras de curauá e a produção dos compósitos.

Quadro 2. Categorias de impacto e indicadores de categoria.

Categorias de impacto	Indicador de categoria	Unidade	Método
1. Mudanças Climáticas	potencial de aquecimento global (GWP), com base no relatório do IPCC 2013 para 100 anos e expressos em kg equivalentes de dióxido de carbono/kg de emissão.	Kg CO ₂ -eq	ReciPE 2016
2. Eutrofização de Água Doce	aumento de fósforo na água	Kg P-eq	ReciPE 2016
3. Acidificação Terrestre	aumento de prótons em solos naturais	Kg SO ₂ -eq	ReciPE 2016
4. Uso e Transformação da Terra	quantidade de terra transformada ou ocupada por um determinado tempo	m ² /ano	ReciPE 2016
5. Consumo Hídrico	aumento de água consumida	m ³	ReciPE 2016
6. Escassez de Recursos Fósseis	valor de aquecimento superior	Kg oil eq	ReciPE 2016
7. Demanda Acumulada De Energia (CED)	valores de aquecimento mais altos dos combustíveis.	MJ - eq	CED
8. Ecotoxicidade de Água Doce	potenciais de ecotoxicidade, descrevendo o destino, exposição e efeitos das substâncias tóxicas.	PAF.m ³ .dia	USEtox
9. Toxicidade Humana, cancerígena	Anos de vida ajustados por incapacidade.	CASES	USEtox
10. Toxicidade Humana, Não-cancerígena	Anos de vida ajustados por incapacidade.	CASES	USEtox

Fonte: Própria autoria com base nos dados de inventário da pesquisa e no SIMAPRO 9.4.

Alguns impactos ambientais foram analisados pelo método ReCiPe 2016 para as seguintes categorias: mudanças climáticas, acidificação terrestre, uso e transformação da terra, consumo hídrico e escassez de recursos fósseis. Este método oferece categorias de ponto médio ou *midpoint* (interferência no ambiente) e ponto final ou *endpoint* (dano ao ambiente). No nível do ponto médio, são abordadas 18 categorias de impacto. No nível do ponto final são agregadas em três categorias: saúde humana, ecossistema e escassez de recursos (PRÉ SUSTAINABILITY, 2022). O ReCiPe é um método que tem escopo

de aplicação global para todas as categorias de impacto e conseqüentemente teve uma maior abrangência para a análise dos impactos ambientais da pesquisa.

O método Demanda Acumulada de Energia (CED), foi usado para analisar a categoria de impacto de mesmo nome. Esse método é o mais indicado para fase industrial devido ao balanço energético.

Foi usada a versão USEtox 2.0 que é um sucessor do USEtox - um modelo ambiental para caracterização de impactos humanos e ecotoxicológicos em Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida e Avaliação Comparativa de Risco. Esse modelo calcula fatores de caracterização para impactos cancerígenos, impactos não cancerígenos e impactos totais (cancerígenos e não-cancerígenos) para emissões químicas no ar interno doméstico, ar interno industrial, ar urbano, ar rural, água doce, água do mar, solo agrícola, solo natural e da exposição humana a resíduos de pesticidas no consumo de culturas alimentares (PRÉ SUSTAINABILITY, 2022). Considerou-se a escolha desse método em virtude de que várias fases do sistema estudado apresentam grande contato com produtos químicos (produção de mudas em laboratório, correção do solo, desfibramento e produção de compósitos).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção apresentam-se os resultados referentes aos impactos relativos dos dois compósitos e das etapas de produção da fibra. E ainda, as análises de sensibilidade de diferentes concentrações de fibra nos compósitos e diferentes concentrações de mucilagem oriunda do desfibramento.

Essas informações poderão oferecer aos grupos de interesse subsídios para tomada de decisão com perspectivas de viabilizar ou não o plantio de curauá de forma sustentável e ainda possibilitar a redução de possíveis impactos ambientais detectados em todas as fases do processo de obtenção da fibra e dos compósitos.

Os resultados absolutos da avaliação do ciclo de vida dos processo encontram-se no Apêndice III.

4.1. Compósitos

A figura 8 mostra que a eletricidade contribui com o potencial impacto de forma majoritária para a maioria das categorias. Exceto para a categoria de uso da terra, onde a fibra de curauá foi predominante e para a categoria eutrofização de água doce onde o polietileno de baixa densidade apresentou maior contribuição de impacto em relação aos demais insumos utilizados na produção do compósito 1.

Os impactos absolutos para a produção de 1kg de compósito 1 (fibra + PEBD) de maior relevância registrados foram: mudanças climáticas (12,85kg de CO₂ eq), uso da terra (39,12m²/ano), escassez de recursos fósseis (37,77kg oil eq), uso da água (15,93m³) e demanda acumulada de energia (37,84MJ).

Figura 8. Análise de Contribuição do processo de produção do compósito 1.

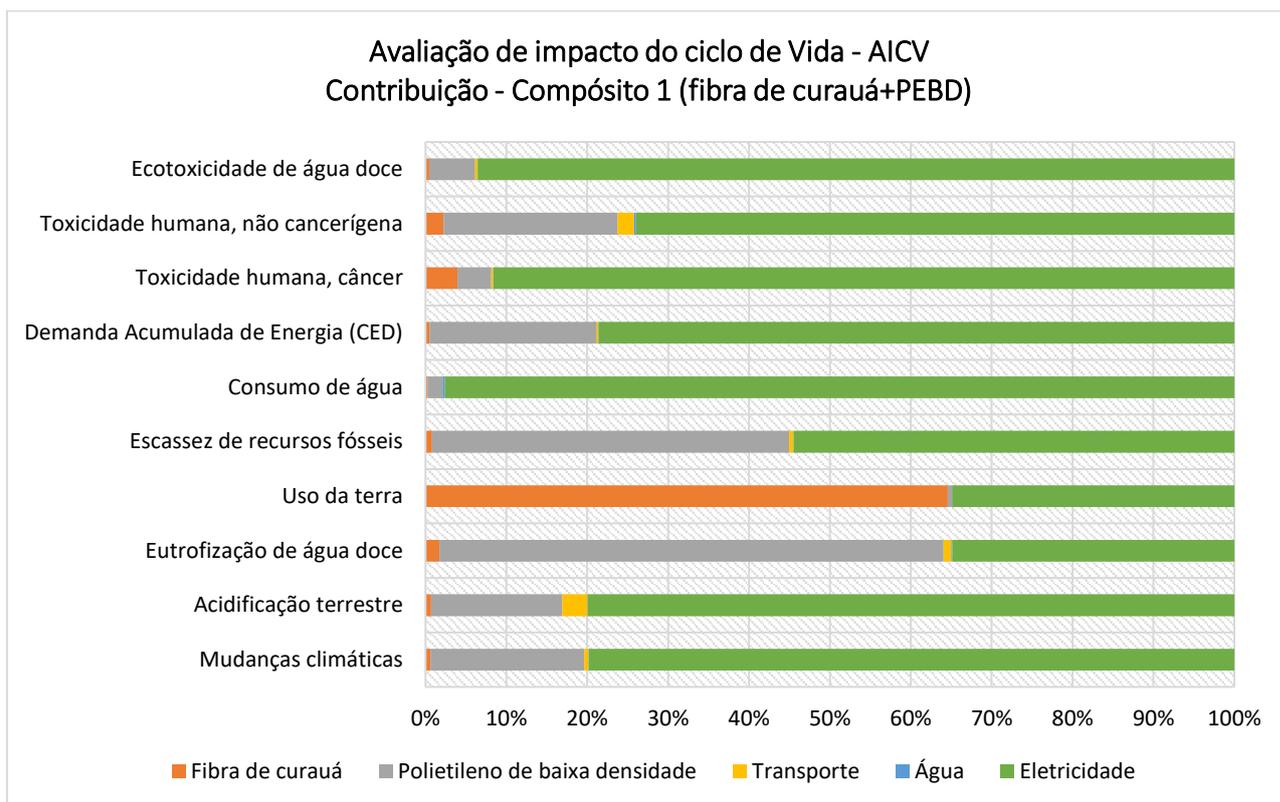
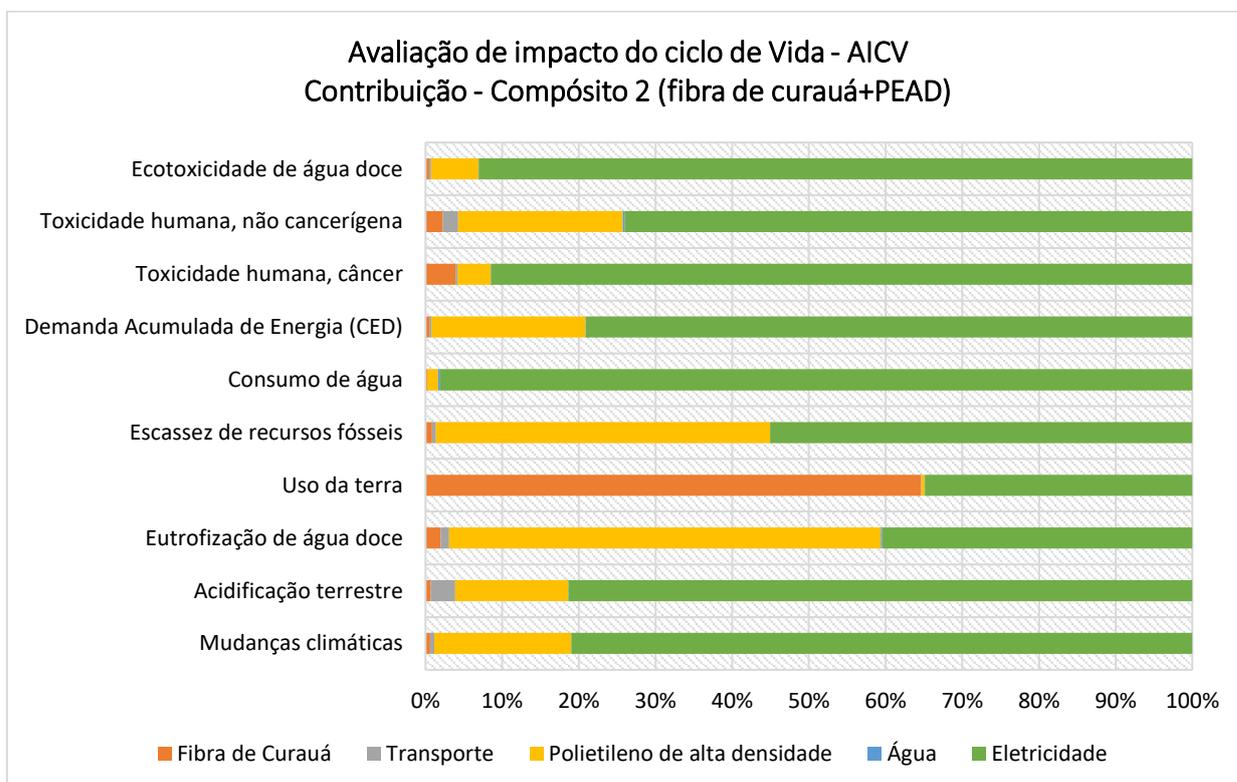


Figura 9. Análise de Contribuição do processo de produção do compósito 2.



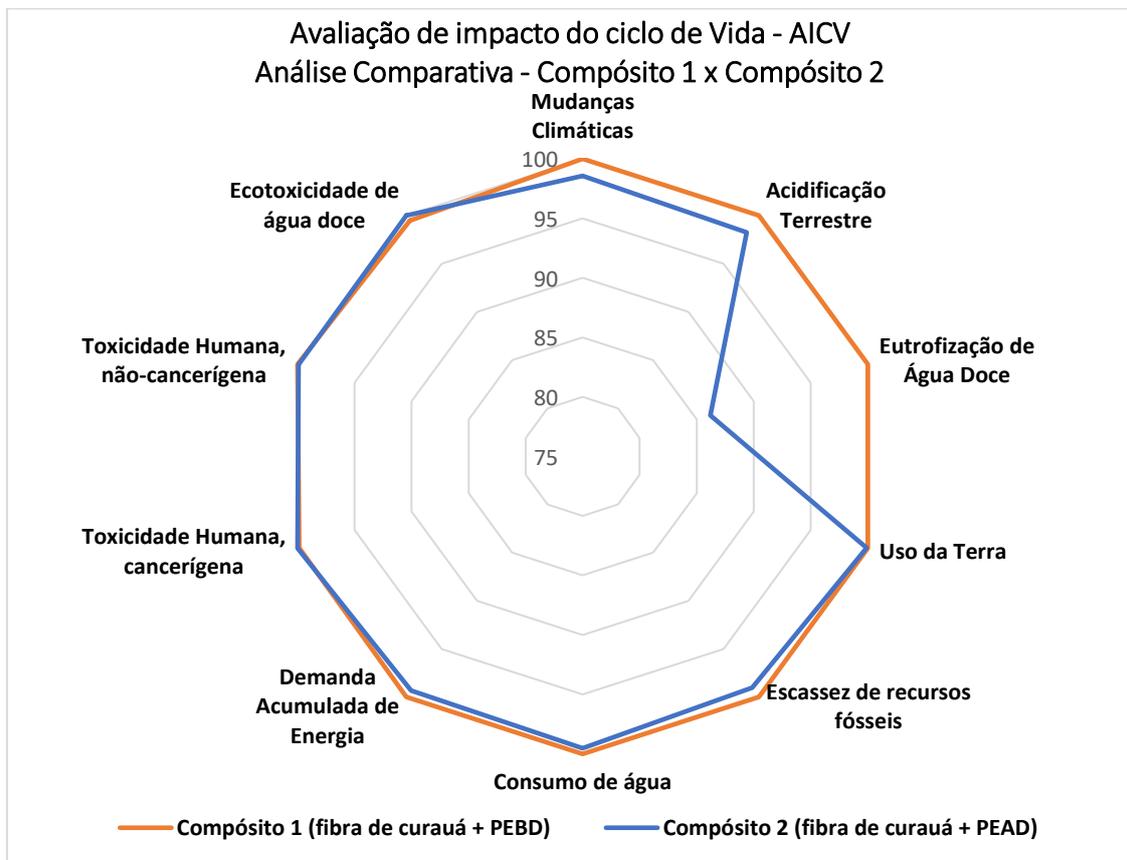
De forma similar ao compósito 1, a eletricidade apresentou a maior contribuição de impacto para a maioria das categorias (Figura 9). Exceto para a categoria de uso da terra, onde a fibra de curauá foi predominante e para a categoria eutrofização de água doce onde o PEAD apresentou maior contribuição de impacto em relação aos demais insumos utilizados na produção do compósito 2. Destaca-se que na categoria consumo de água foi onde a eletricidade apresentou o maior impacto tanto para o compósito 1 (Figura 8) quanto para o compósito 2.

Os impactos absolutos para a produção de 1kg de compósito 2 (fibra + PEAD) de maior relevância registrados foram: mudanças climáticas (12,67kg de CO₂ eq), uso da terra (39,08m²/ano), escassez de recursos fósseis (36,40kg oil eq), uso da água (15,85m³) e demanda acumulada de energia (37,58MJ).

Morales-Méndez; Silva-Rodríguez, (2018) comparam os impactos potenciais causados na camada de ozônio pelo uso de sacolas plásticas produzidas a partir de Polietileno de alta densidade (PEAD), Polietileno de baixa densidade (PEBD) e Polietileno linear de baixa densidade (PELBD). O estudo concluiu que a etapa do processo de produção de sacolas plásticas que tem o maior impacto ambiental potencial é o processo de extrusão, devido à energia utilizada e em relação ao impacto da matéria-prima, os polímeros PEBD e PELDB são os que possuem o maior impacto ambiental potencial.

Na Figura 10 foram comparados dois cenários: 1kg de compósito 1 (curauá + PEBD) e 1kg de compósito 2 (curauá + PEAD), o resultado foi indiferente para a maioria das categorias de impacto. Com exceção da categoria eutrofização de água doce, onde o compósito 1 apresentou maior impacto que o compósito 2.

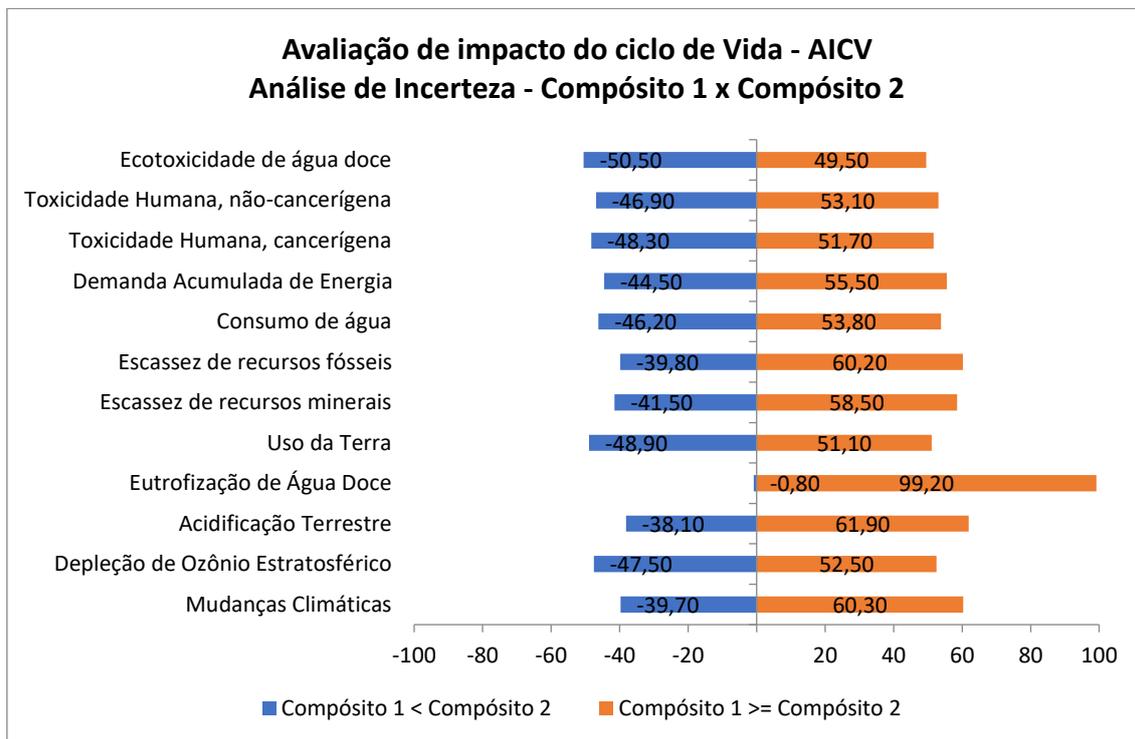
Figura 10. Análise Comparativa entre os impactos ambientais do ciclo de vida dos Compósito 1 e Compósito 2.



Lacerda (2022), utilizando a metodologia de impacto ReCiPe 2016, comparam os impactos potenciais causados em 18 categorias de impactos pelo uso de sacolas plásticas produzidas utilizando três polímeros, dois de matriz petroquímica, polietileno de alta densidade (PEAD) e polietileno de baixa densidade (PEBD) e um de matriz biológica renovável, amido termoplástico (ATP). O ATP foi o polímero que apresentou o maior impacto potencial entre as categorias quando comparado ao PEAD e o PEBD e entre os polímeros petroquímicos o PEBD foi o polímero que apresentou o maior impacto potencial, inclusive na categoria eutrofização de água doce.

De acordo com a Figura 11, a probabilidade do compósito 1 ser mais impactante para as categorias: mudanças climáticas, acidificação terrestre e escassez de recursos fósseis é de aproximadamente 60%. Para as demais categorias esse percentual fica em torno de 49,50% a 58,50%, caracterizando que os dois compósitos são estatisticamente iguais. Exceto para categoria eutrofização de água doce, onde o compósito 1 é mais impactante que o compósito 2 (99,20%).

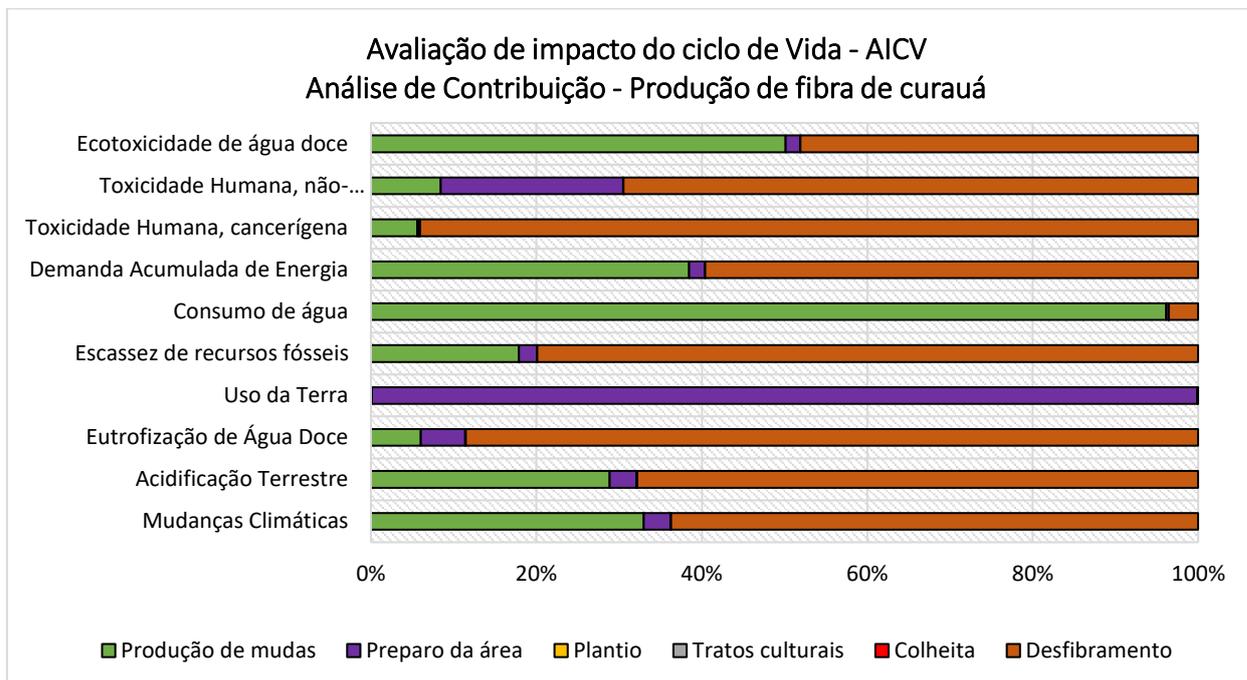
Figura 11. Análise de Comparação com incerteza entre o compósito 1 (curauá + PEBD) e o compósito 2 (curauá + PEAD).



4.2. Cadeia da fibra

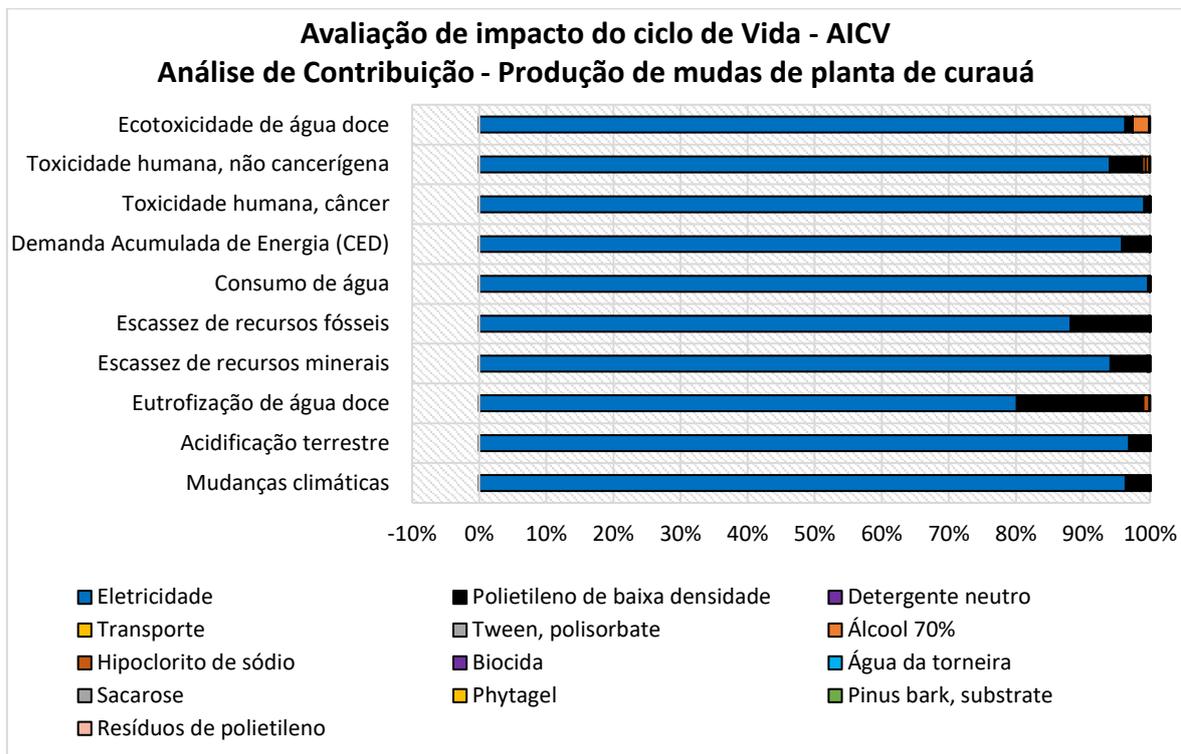
A Figura 12 apresenta a análise de contribuição do processo de produção de fibras, considerando o desempenho ambiental das cinco etapas da fase agrícola, onde os maiores impactos relativos foram registrados nas etapas de produção de mudas e desfibramento.

Figura 12. Análise de Contribuição do processo de produção de fibra de curauá, considerando as etapas existentes no ciclo de vida.



A etapa de preparo de área do cultivo, contribuiu para o impacto nas categorias transformação e uso do solo e toxicidade humana não cancerígena devido ao uso do calcário dolomítico para correção da acidez do solo. As etapas tratos culturais e colheita, não apresentaram impactos relativos e o plantio apresentou o menor impacto em relação as demais etapas de produção da fibra. Fato já esperado devido ao manejo do solo adotado para implantação de cultivos na Amazônia, normalmente não mecanizados e sem o uso de produtos químicos.

Figura 13. Análise de Contribuição do processo de produção de mudas de planta de curauá



A Figura 13 mostra que a eletricidade foi o insumo mais impactante na etapa de produção de mudas, contribuindo com mais de 80% para todas as categorias. Destaque para as categorias consumo de água e toxicidade humana cancerígena que apresentaram maior impacto relativo. Este resultado já era esperado, de acordo com os dados de inventário descritos na Tabela 2, devido à utilização de diversos equipamentos e a iluminação artificial é essencial em todas as fases de produção da muda em laboratório.

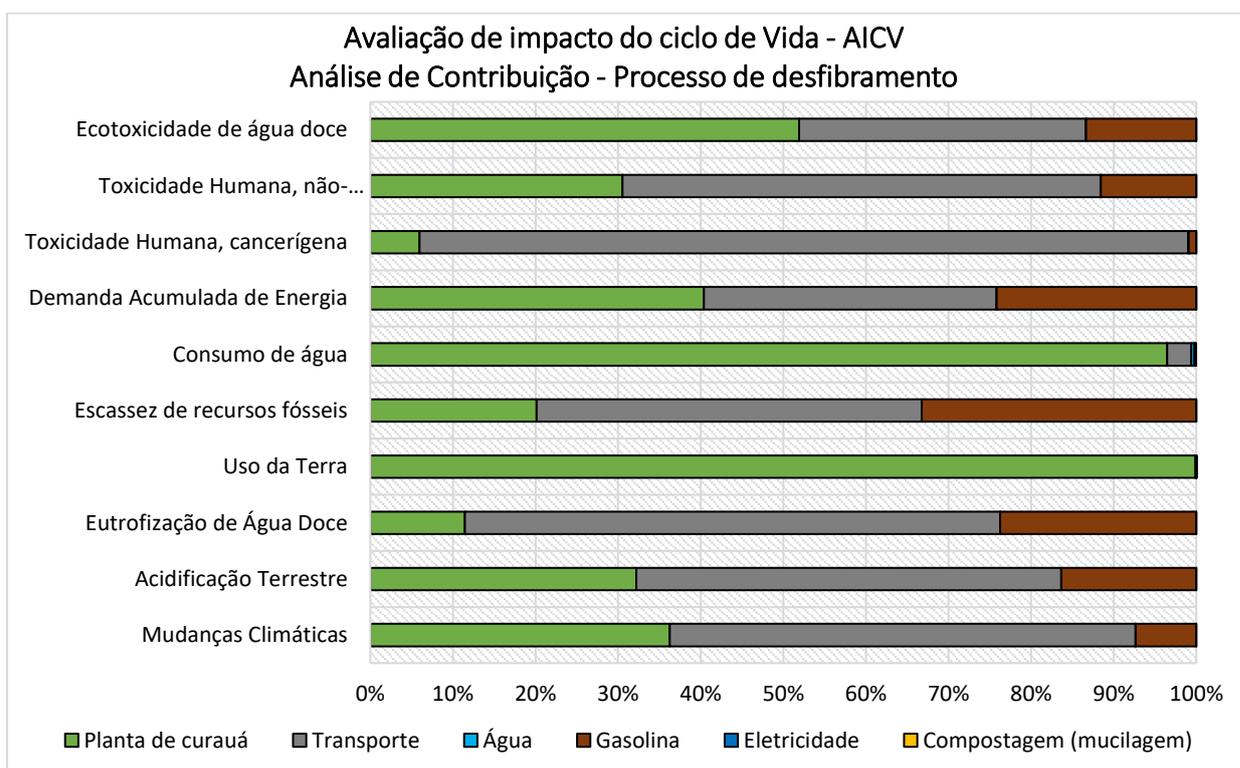
Vale ressaltar que, a produção de mudas *in vitro* se faz necessária na implantação do primeiro plantio. Com o plantio estabelecido, o produtor poderá produzir suas próprias mudas, através da propagação vegetativa e ainda utilizando os filhotes da planta que surgem na região apical do fruto (coroa) ou plantando a própria coroa.

Quanto aos demais insumos usados nesta etapa, o polietileno usado nas bandejas de germinação e nos sacos de mudas, foi o segundo insumo de maior impacto relativo nas categorias eutrofização de água doce e escassez de recursos fósseis, contribuindo com 18,78% e 11,75%, respectivamente.

A Figura 14 mostra que a matéria-prima do desfibramento (planta de curauá) contribui com o potencial impacto de forma majoritária para as seguintes categorias de impacto: uso da terra, consumo de água, demanda acumulada de energia e ecotoxicidade

de água doce. Para as demais categorias, o maior potencial de impacto foi a etapa de transporte da planta e dos insumos até o CBA, onde ocorreu o desfibramento. A gasolina usada no desfibramento contribuiu com maior impacto que a matéria prima apenas nas categorias: eutrofização de água doce e escassez de recursos fósseis.

Figura 14. Análise de Contribuição do processo de desfibramento, considerando os fluxos mássicos e energéticos.

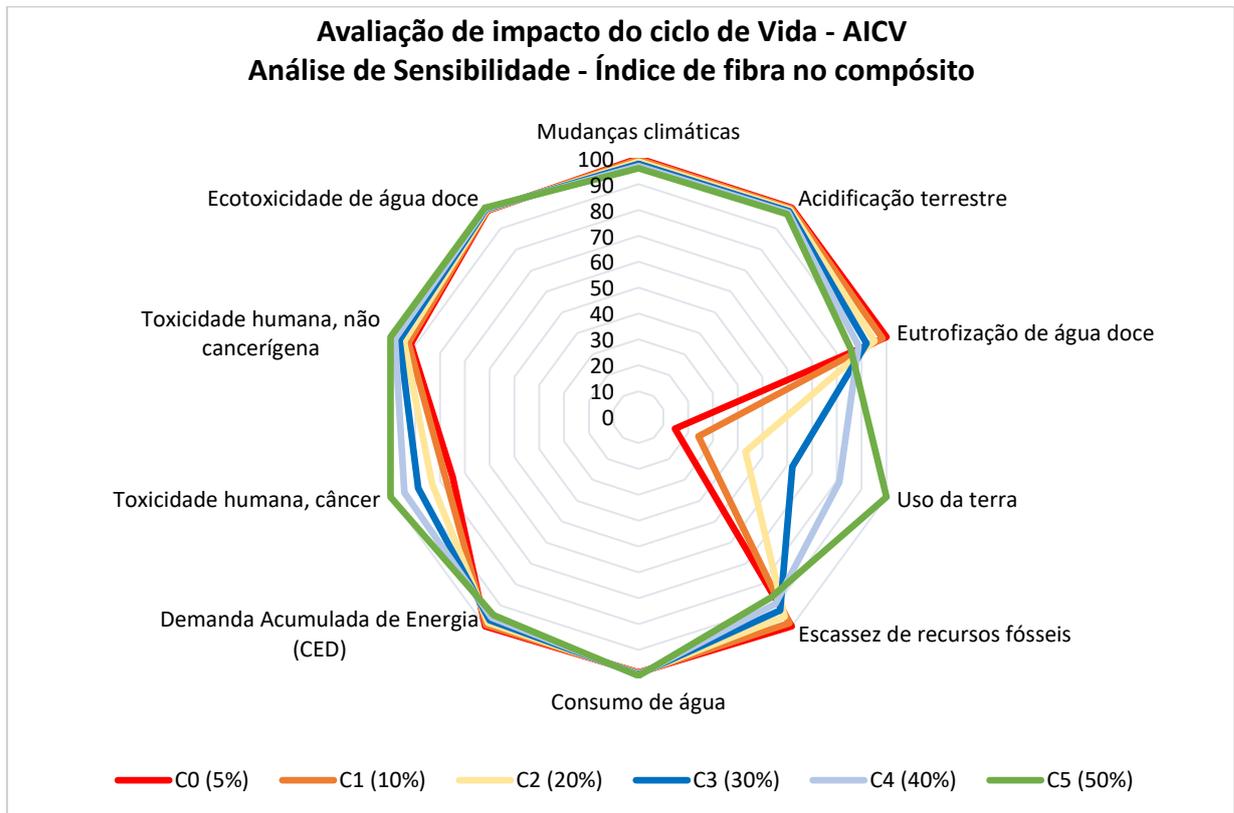


Após o processo de desfibramento, aproximadamente 90% do peso verde da planta é resíduo (mucilagem), apenas 10% é fibra. Esse resíduo é descartado no meio ambiente podendo causar impactos para a água e solo.

4.3. Análise de sensibilidade

A Figura 15 mostra os resultados análise de sensibilidade do compósito 1 para o cenário base (C0) e mais cinco cenários (C1, C2, C3, C4 e C5) com diferentes concentrações de fibra em relação ao polietileno de baixa densidade. O objetivo da verificação de sensibilidade é avaliar a confiabilidade dos resultados e conclusões.

Figura 15. Análise de sensibilidade entre diferentes índices de fibra de curauá na produção do compósito (fibra de curauá + PEBD).

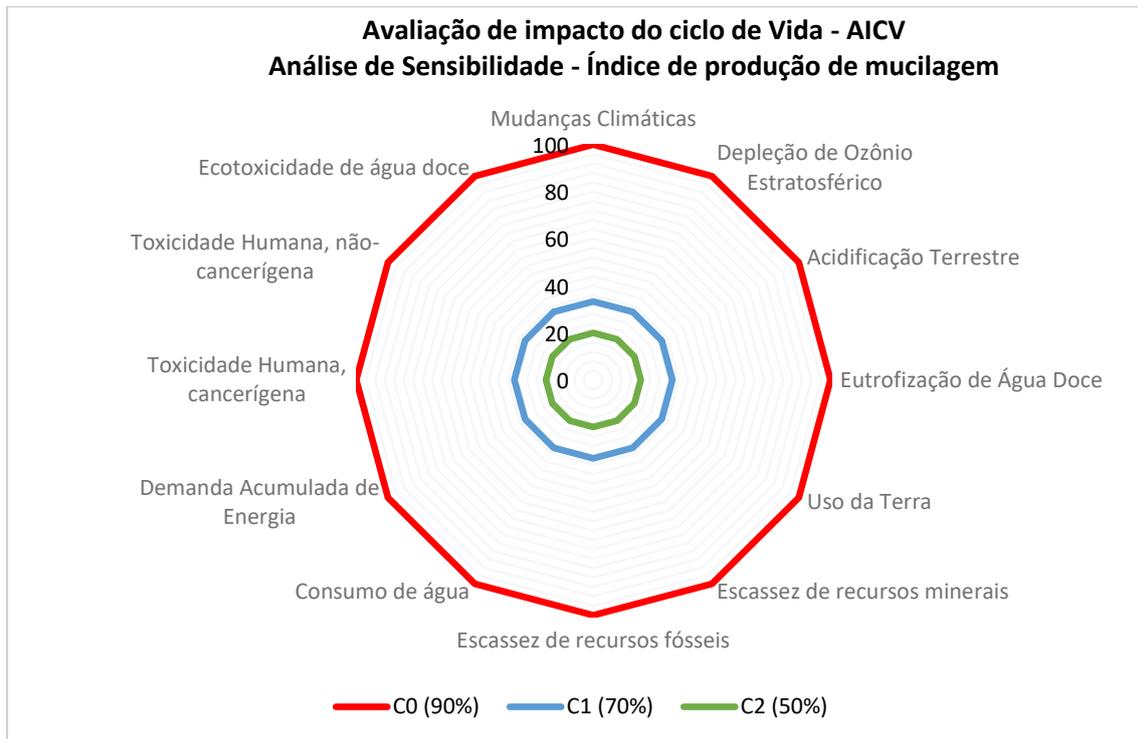


Os resultados relativos foram os mesmos, em relação ao cenário base (C0) para maioria das categorias de impacto, com exceção das categorias uso e transformação do solo e toxicidade humana cancerígena (C5). Para estas duas categorias, o resultado justifica-se pela maior quantidade de fibra utilizada no compósito, refletindo assim, a necessidade de uma maior área plantada de curauá e uma maior exposição a produtos tóxicos, como a gasolina usada no desfibramento.

Outras duas categorias que apresentaram impacto relativo considerável foram eutrofização de água doce, escassez de recursos fósseis e demanda acumulada de energia. Porém, de forma inversa às categorias anteriores, evidenciando que quanto menor a concentração de fibra no compósito, maior a concentração de polietileno e com isso maior consumo de energia e fibra sintética.

De acordo com o resultado apresentado na Figura 16, no cenário base (C0), tem-se 90% de mucilagem e apenas 10% de fibra. Para o cenário C1, onde considerou-se obtenção de 30% de fibra, as emissões já seriam reduzidas em 67%. E no cenário C2, considerando 50% de fibra, o impacto reduziria em 80%.

Figura 16. Análise de sensibilidade de diferentes concentrações de mucilagem oriunda do desfibramento.



Porém, no caso da planta de curauá, as análises realizadas em 2002 no laboratório da Universidade de São Paulo (Apêndice II), indicaram que a planta possui elevada quantidade de água, em torno de 83 a 90%, restando de 10 a 17% de fibra. Portanto, a redução dos impactos gerados na produção da fibra, só serão minimizados caso se destine a mucilagem para outros fins.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na busca pela produção de materiais menos impactantes ao meio ambiente, reduzindo a quantidade de materiais de origem petroquímica, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os impactos ambientais ao longo da cadeia produtiva do curauá para o uso da sua fibra em compósitos poliméricos utilizados na indústria.

Os resultados mostraram que, de forma geral, o compósito 1 (curauá + PEBD) e o compósito 2 (curauá + PEAD) apresentaram impacto potencial semelhantes. Estes resultados eram relativamente esperados, pois são polímeros similares em sua estrutura.

No processo de produção da fibra, os maiores impactos ambientais foram registrados nas etapas de produção de mudas e na etapa de desfibramento. As demais etapas da fase agrícola apresentaram pequena ou nenhuma contribuição para os impactos potenciais. Isto pode significar que trabalhos futuros para melhoria da redução de tais impactos devem ser focados exatamente nestas etapas.

Considerando as análises de sensibilidade é possível apontar que a concentração de fibra nos compósitos apresentou impactos relativos de forma semelhante para maioria das categorias de impacto. Porém, a análise mostrou um impacto potencial na categoria de uso da terra ao aumentar a concentração de fibra nos dois compósitos, devido a necessidade de uma maior área de plantio para a extração de fibra. Isto porque, quanto maior área, maior o uso de insumos emissores de poluentes, gases do efeito estufa, e a remoção de dióxido de carbono presos no solo.

Quanto a análise de sensibilidade de diferentes concentrações de mucilagem proveniente do desfibramento, mostrou-se que os impactos relativos poderiam ser reduzidos em até 80%, caso se utilizasse uma planta com potencial de fornecimento maior de fibra, o que não foi o caso demonstrado neste trabalho.

Apesar do baixo impacto ambiental relacionado aos dois compósitos, a produção de fibra de curauá mostrou-se pouco promissora sob o ponto de vista ambiental, devido à grande quantidade de mucilagem proveniente do desfibramento. Embora exista uma perspectiva de um uso mais intenso da fibra para utilização em compósitos - devido as boas qualidades mecânicas da fibra - os resultados não foram satisfatórios, em virtude do custo/benefício para a retomada de novos plantios para uso industrial.

Nessa perspectiva, ficam como indicações para futuros estudos relacionados à produção de fibras de curauá, as seguintes possibilidades de aproveitamento dos resíduos: a extração da bromelina para uso em cosméticos, fármacos e alimentos; utilizá-los para produção de biocombustível, que na Amazônia seria interessante devido à falta de energia elétrica nas comunidades mais distantes; como adubo orgânico, minimizando os custos e os impactos ambientais com a adubação química, no caso de um plantio em escala comercial.

Outro ponto a ser pesquisado é quanto às propriedades físicas e mecânicas de compósitos utilizando a fibra de curauá misturadas com resinas de base biológica como o Poli (ácido lático) - PLA que é um polímero biodegradável obtido de fontes renováveis e comercializado mundialmente em larga escala. Assim, teríamos um biocompósito, onde matriz (PLA) e reforço (fibra de curauá) são biodegradáveis, com isso poderá haver expansão de materiais de base agrícola e contribuir para geração de emprego nas áreas rurais da Amazônia.

REFERÊNCIAS

AMAZONAS. **Diretrizes para a construção conceitual da Bioeconomia no Amazonas.** (SEDECT, SECTI, Eds.), ago. 2021. Disponível em: https://www.selecti.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/07/NT_Bioeconomia_01_SECTI-SEDECTI-AM_Bioeconomia_no_Amazonas.pdf. Acesso em: 27 fev. 2023.

ARAÚJO, K. da S.; PEREIRA, H. dos S. **Políticas públicas e as fibras naturais: a experiência recente da cadeia produtiva da malva e juta amazônica.** Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences, v. 60, n. 1, p. 60–69, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). **Cartilha de Reciclabilidade de Materiais Plásticos Pós-Consumo.** (2015). Disponível em: <<https://www.abiplast.org.br/publicacoes/cartilha-e-reciclabilidade-de-materiais-plasticos-pos-consumo/>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 14040:2009: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.** Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 14044:2009: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações.** Brasil.

BÁNKUTI, S. M. S.; BÁNKUTI, F. I. **Gestão ambiental e estratégia empresarial: um estudo em uma empresa de cosméticos no Brasil.** Gestão & Produção, v. 21, n. 1, p. 171–184, mar. 2014.

BRACCO, S. *et al* **Indicators to monitor and evaluate the sustainability of bioeconomy: overview and a proposed way forward.** 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca6048en/ca6048en.pdf>. Acesso em: 02/06/2022.

BRASIL. Comex Stat - ComexVis. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>>. Acesso em: 22 jul. 2021.

BRESSIANI JÚNIOR, I. *et al.* **Fibras naturais e compósitos nas Indústrias de mobilidade.** Mix Sustentável, v. 6, n. 4, p. 129–138, 7 ago. 2020.

BROEREN, M. L. M. *et al.* Life cycle assessment of sisal fibre – Exploring how local practices can influence environmental performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 818–827, abr. 2017.

BUGGE, M. M.; HANSEN, T.; KLITKOU, A. **What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature.** Sustainability, v. 8, n. 7, p. 691, jul. 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/7/691>. Acesso em: 19/02/2023.

COSTA, F. DE A. *et al.* **Uma bioeconomia inovadora para a Amazônia: conceitos, limites e tendências para uma definição apropriada ao bioma floresta tropical.** World Resources Institute, 2022. DOI:10.46830/wriwp.21.00168pt. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/publicacoes/uma-bioeconomia-inovadora-para-amazonia-conceitos-limites-e-tendencias-para-uma>. Acessado em: 01/02/2023.

COSTA, U. O. *et al.* **Mechanical properties of composites with graphene oxide functionalization of either epoxy matrix or curauá fiber reinforcement.** Journal of Materials Research and Technology, v. 9, n. 6, p. 13390–13401, 1 nov. 2020.

DE FREITAS, A. E. M. *et al.* **Curauá fibers from plants produced by tissue culture: thermal, mechanical, and morphological characterizations.** In Review, 16 maio 2022. Disponível em: <<https://www.researchsquare.com/article/rs-1562572/v1>>. Acesso em: 5 jun. 2022.

EMBRAPA. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará.** Edilson Carvalho Brasil Manoel da Silva Cravo Ismael de Jesus Matos Viégas, 2020.

EUROPEAN COMMISSION. JOINT RESEARCH CENTRE. INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook :general guide for life cycle assessment: detailed guidance.** LU: Publications Office, 2010.

FUNDAÇÃO HEINRICH BÖLL BRASIL. **Atlas do Plástico 2020.** Disponível: <https://www.google.com/search?q=ATLAS+DO+PLASTICO+2020&oq=ATLAS+DO+PLASTICO+2020&aqs=chrome..69i57j0i22i30.6123j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8>. Acesso em: 22 maio 2022.

FRAXE, T. DE J. P.; FERREIRA, A. DA S. **Nova técnica para extração de fibras de juta e malva em processo a seco no Estado do Amazonas: o resgate da utopia.** Inclusão Social, v. 12, n. 1, 13 nov. 2018.

GATO, A. M. G. *et al.* **Desinfestação e introdução in vitro de Ananas erectifolius (L. B. Sm.).** Scientia Amazonia, v. 7, p. 5, 2018.

GONÇALVES, FERNANDO. A. C. *et al.* **Fibras Vegetais: Aspectos Gerais, Aproveitamento, Inovação Tecnológica e uso em Compósitos.** Revista Espacios, v. Vol. 39, n. 6, 2018.

IBGE. **Produção de Juta no Brasil.** IBGE. BRASIL. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/juta/br>>. Acesso em: 26 mar. 2023.

IBICT. **Histórico da ACV.** Disponível em: <<https://acv.ibict.br/acv/historico-da-acv/>>. Acesso em: 4 mar. 2023.

IPEA, 2017 (ED.). **Brasil 2035 cenários para o desenvolvimento.** Editores: Elaine C. Marcial, Maurício Pinheiro Fleury Curado, Márcio Gimene de Oliveira, Samuel Cesar da Cruz Júnior e Leandro Freitas Couto, 2017. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=30156. Acesso em: 21 nov. 2021.

KARIMAH, A. *et al.* **A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: characteristics, and utilizations.** Journal of Materials Research and Technology, v. 13, p. 2442–2458, 1 jul. 2021.

KOROL, J.; BURCHART-KOROL, D.; PICHLAK, M. **Expansion of environmental impact assessment for eco-efficiency evaluation of biocomposites for industrial application.** Journal of Cleaner Production, v. 113, p. 144–152, fev. 2016.

LACERDA, M. T. **Avaliação do Ciclo de Vida como ferramenta de apoio a decisão no desenvolvimento de produtos: um estudo comparativo entre plásticos de base fóssil e vegetal.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. 2022.

LEAO, A. L. *et al.* **Curaua fibers - The queen of the fibers. Natural Fibers: Properties, Mechanical Behavior, Functionalization and Applications**, p. 83, 1 jan. 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/179383>. Acesso:25/03/2023.

MCTIC. **2018_plano_acao_ciencia_tecnologia_inovacao_bioeconomia.pdf**. 2018. Disponível:https://repositorio.mctic.gov.br/bitstream/mctic/4355/1/2018_plano_acao_ciencia_tecnologia_inovacao_bioeconomia.pdf. Acesso em: 21 fev. 2023.

MDIC. Comex Stat - **Exportação e Importação Geral**. BRASIL. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral/21578>>. Acesso em: 26 mar. 2023.

MELO, P. M. A. DE. **Compósitos particulados de polietileno de alta densidade e concha de molusco: efeito do teor e da granulometria.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais, p. 79, 2013.

MOHANTY, A. K. *et al.* **Composites from renewable and sustainable resources: Challenges and innovations.** Science, v. 362, n. 6414, p. 536–542, 2 nov. 2018.

MORALES-MÉNDEZ, J.-D.; SILVA-RODRÍGUEZ, R. **Environmental assessment of ozone layer depletion due to the manufacture of plastic bags.** Heliyon, v. 4, n. 12, p. e01020, 1 dez. 2018.

NEVES, R. M. *et al.* **Characterization of polystyrene nanocomposites and expanded nanocomposites reinforced with cellulose nanofibers and nanocrystals.** Cellulose, v. 26, n. 7, p. 4417–4429, maio 2019.

OECD. **What External Factors Will Drive the Bioeconomy to 2030?** Paris: OECD, 10 abr. 2009. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-bioeconomy-to-2030/what-external-factors-will-drive-the-bioeconomy-to-2030_9789264056886-4-en. Acesso em: 19 fev. 2023.

PEREIRA, P. H. F. *et al.* **Vegetal fibers in polymeric composites: a review.** Polímeros, v. 25, n. 1, p. 9–22, fev. 2015.

PHILP, J.; WINICKOFF, D. **Ecosystemas de inovação na bioeconomia.** 2019. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/innovation-ecosystems-in-the-bioeconomy_e2e3d8a1-en. Acesso em: 21 fev. 2023.

PINTO, D.G. **O que é polietileno?** Revista Plástico Moderno. 27/08/2022. Disponível em: <https://www.plastico.com.br/polietileno-pead-peuapm-pebd-pebdl-peubd/>. Acesso em: 9 abr. 2023.

PINTO, M.S. **Bioplásticos: o que eles realmente têm de BIO?** Blog Profissão Biotec. 31/03/2020. Disponível em:<https://profissaobiotec.com.br/bioplasticos-o-que-realmente-tem-de-bio/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

PRÉ SUSTAINABILITY. **SimaPro database manual-Methods library.** SimaPro, jun. 2022. Disponível em: <https://simapro.com/global-partner-network/>>. Acesso em: 8 mar. 2023.

PROTZEK, G. R. **Obtenção e Caracterização de compósito verde de casca de pinhão e poliuretana derivada do óleo de mamona**. Curitiba-PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

RAMESH, M. *et al.* **Life-cycle and environmental impact assessments on processing of plant fibres and its bio-composites: A critical review**. Journal of Industrial Textiles, p. 152808372092473, 21 maio 2020.

REDDY, T. R. K. *et al.* **Renewable Biocomposite Properties and their Applications**. Em: Composites from Renewable and Sustainable Materials. IntechOpen, 2016.

SANTANA, A. C.S. **Bioeconomia aplicada ao agronegócio: mercado, externalidades e ativos naturais**. Piracanjuba-GO. Editora Conhecimento Livre, 2020 346 f. DOI: 10.37423/2020.edcl190. <https://conhecimentolivre.org/ebook/bioeconomia-aplicada-ao-agronegocio-mercado-externalidades-e-ativos-naturais/>.

SILVA, R. C. **Cadeia produtiva do Curauá: concepção sistêmica dos condicionantes de seu desempenho, na região Oeste Paraense** - 2011. 184f. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências Agrárias) – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Universidade Federal Rural da Amazônia, 2011.

FILHO, A. J. S.; SANFELICE, R. C. Estudo bibliográfico sobre polímeros ambientalmente sustentáveis. Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação, v. 3, n. 2, p. 131–148, 2018. <https://doi.org/10.18554/rbcti.v3i2.3347>. Disponível em <https://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/rbcti/article/view/3347/3355>. Acesso em: 02/04/2023.

SUFRAMA. **Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação - PD&I**. Governo. Disponível em: <<https://www.gov.br/suframa/pt-br/zfm/pesquisa-e-desenvolvimento/pesquisa-e-desenvolvimento-p-d>>. Acesso em: 30 mar. 2023.

TEIXEIRA, R. S. **Efeito das fibras de curauá e de polipropileno no desempenho de compósitos cimentícios produzidos por extrusão**. Doutorado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais—São Carlos: Universidade de São Paulo, 5 fev. 2015.

THE WHITE HOUSE. NATIONAL BIOECONOMY BLUEPRINT. Disponível em:https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national_bioeconomy_blueprint_april_2012.pdf. Acesso em: 23 fev. 2023.

VAN DER GIESEN, C. *et al.* **A critical view on the current application of LCA for new technologies and recommendations for improved practice**. Journal of Cleaner Production, v. 259, p. 120904, 20 jun. 2020.

VIVIEN, F.-D. *et al.* **The Hijacking of the Bioeconomy**. Ecological Economics, v. 159, p. 189–197, 1 maio 2019. DOI 10.1016/j.ecolecon.2019.01.027. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800918308115>. Acesso em: 19/02/2023.

WEARN, Y. N.; MONTAGNA, L. S.; PASSADOR, F. R. **Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 25, n. 1, p. e-12548, 2020.

WWF 2019. **Brasil é o 4o país do mundo que mais gera lixo plástico**. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>. Acesso em: 22 maio. 2022.

ZAH, R. *et al.* **Curauá fibers in the automobile industry - a sustainability assessment**. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, n. 11–12, p. 1032–1040, 2007.

APÊNDICE I

Expediente enviado ao Dr. Ivaldo Ledo do Banco de Crédito da Amazônia (Fábrica Perseverança S.A. Belém-PA, 25/03/1966).

Belém, 25 de Março de 1966

Ilmo. Snr.
Dr. Ivaldo Ledo
Banco de Crédito da Amazonia
- Nesta -

Atenção
↓

Amigo e Snr.

REF. FIBRA DE CURAÚ

Em harmonia com os seus desejos, procedemos a experiências com esta fibra que V.Sa. nos forneceu, trabalhando-a na nossa fábrica de Cordas, em máquinas apropriadas a industrializar fibras longas tais como sisal, manilha e similares.

Procedendo a testes de resistência de fio de curaú, verificamos em 5 operações com pedaços de 1 metro de fio cada uma, no total de 10,45 gramas, que o peso total de ruptura foi de 198 kilos, ou seja que a média de resistência encontrada foi de 39,6 kilos.

Comparando equivalente grossura de Fio de Sisal submetido a igual operação, obtém-se uma média de resistência de 27,6 kilos. Juntamos laudo discriminativo destas experiências.

Cumpre notar que as conclusões destas experiências são susceptíveis de alteração em novas experiências, dependendo da classificação ou qualidade das fibras a empregar.

Verifica-se, todavia, pelo exposto, que a fibra de curaú é notavelmente mais resistente que a do sisal.

Tanto quanto pudemos apreciar com a relativamente pequena quantidade de fibra que nos foi fornecida para experiência, verificamos que o curaú pode ser empregado em cordas comuns, e nos podemos consumir atualmente cerca de 20 a 30 toneladas mensalmente, podendo ainda aumentar o consumo no futuro.

Quanto ao preço comercial, pelo momento podemos pagar a fibra de curaú a cerca de Cr\$300,00 por kilo, equivalente ao sisal, posto em nossa fábrica, para aplicação em cordas comuns, em conjunto com o Sisal.

Devemos ainda esclarecer que, com uma quantidade regular de fornecimentos garantidos, poderíamos estudar o lançamento no mercado de um tipo especial de cabos dessa fibra, procurando obter um melhor preço de venda do cabo para, em consequência, poder pagar um preço mais alto pela fibra.

Cumpre-nos ainda informar que, antevemos a possibilidade de empregar o curaú em novas aplicações além do cabo comum, fiando-o em fio mais fino que o usual para cabos, e o qual teria outras aplicações industriais, mais rendosas.

Entretanto, para obter esse fio fino, seria necessário umas novas fiadeiras especiais complementares da n/ção de Cordocria. Porém, essas máquinas são hoje muito caras e não podemos lançar-nos nessas experiências sem auxílio dos poderes estatais.

Se o Banco de Crédito da Amazonia tem possibilidade de nos fornecer numerário suficiente, a juro módico e condições acessíveis à indústria, estaríamos dispostos a estudar o assunto com o interesse

APÊNDICE II

Resultado de análise da proporção fibra/água realizada na Universidade de São Paulo

 USP UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO	
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENG ^o DE ALIMENTOS Depto. de Zootecnia - Laboratório de Nutrição Rua Duque de Caxias Norte, 225 Pirassununga-SP Fone. (019) 3565 4183	
N ^o 095/02	

INTERESSADO: _____

DATA: 10/06/02NOME: Prof. Paulo LemeENDEREÇO: FZEA/USPN^oCIDADE: Pirassununga

CNP:

TEL:

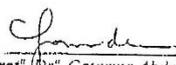
RESULTADOS DE ANÁLISES EXPRESSOS EM PORCENTAGEM

Amostra	MS	PB *	FB *	EE *	MM *	Ca *	P *	N ^o Am.
Curauá	89.03	5.45	23.35	1.29	9.23	0.38	0.20	813
Curauá BTV	90.53	6.72	26.89	0.32	12.60	0.39	0.20	814
	MS65°C	MST						
Curauá	11.65	10.37						
Curauá BTV	18.80	17.02						
	MST							

OBSERVAÇÕES: *Resultado na Matéria Seca a 100%

PARA: _____

GILBERTO ROMANATO

FONE 11 36 49 4901
36 49 4920

 Resp. Prof^a Dr^a Catarina Abdalla Gomide

MS - matéria seca
 MST - " " a 65°C
 PB - proteína bruta
 FB - fibra bruta
 EE - extrato etéreo
 MM - matéria mineral

FROM : MARCA/MODA MONDO Ind. Com. Ltda. PHONE NO. : 551139362717

Jun. 20 2002 11:34AM P2

Jun 20 '02 00:58 AM

PAGE 2

ENH 60,51% - Caraná
 ENH 53,47% - Caraná 51V

Gilberto,

O maior problema do Caraná é a grande quantidade de água - (83 a 90%) -

Até que nos do 47% que sobra a composição não é ruim se você comparar com uma silagem boa de milho.

A fração ENH - extrativos não integrais (Carboidratos) chega ao redor de 60%. Mas, lembre-se, 60% de 10 a 17 que é a matéria seca.

Mas encontra resultados de pilagem de copins. Você tem da silagem de confinamento? Alguém aqui deve ter, vai achar.

Outra coisa que nos sabemos é se o boi come bem esse resíduo.

Forte abraço

Alberik
 19/06/2002

APÊNDICE III

1. Análise de Contribuição do processo de produção do compósito 1.

PRODUTO: 1 kg Composito 1 (fibra de curauá + PEBD)							
MÉTODO: FIT: ReciPe + CED + UseTox_v2 V2.00							
INDICADOR: Caracterização							
Categoria de Impacto	Unidade	Total	Fibra de curauá	Transporte	Polietileno de baixa densidade	Água	Electricidade
Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq	12,85	0,077139054	0,07	24,46	0,0026599022	67,31
Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq	0,042098345	0,00028746233	78,89	0,0068332346	147,29	0,03
Eutrofização de água doce	kg P eq	0,0010365882	178,45	97,10	0,00064620864	13,36	1004,73
Uso da terra	m ² .a crop eq	39,12	25,25	500,51	0,021509204	0,00019268606	1,36
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	36,77	0,030355032	0,02	16223863,00	0,00065836319	2,00
Consumo de água	m ³	15,93	0,0038742833	552,81	0,02999301	0,004114628	1,56
Demanda Acumulada de Energia (CED)	MJ	37,84	19,26	0,91	78169152,00	0,043251676	275,66
Toxicidade humana, câncer	cases	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Toxicidade humana, não cancerígena	cases	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade de água doce	PAF.m ³ .day	0,080015106	0,00037028867	137,20	0,0045464841	310,69	0,08

2. Análise de Contribuição do processo de produção do compósito 2.

PRODUTO: 1 kg Composito 2 (fibra de curauá + PEAD)							
MÉTODO: FIT: ReciPe + CED + UseTox_v2 V2.00							
INDICADOR: Caracterização							
Categoria de Impacto	Unidade	Total	Fibra de curauá	Transporte	Polietileno de alta densidade	Água	Electricidade
Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq	12,67	0,077139054	0,07	22,62	0,0026599022	67,31
Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq	0,041358428	0,00028746233	78,89	0,0060933176	147,29	0,03
Eutrofização de água doce	kg P eq	0,00089342284	178,45	97,10	0,0005030433	13,36	1004,73
Uso da terra	m ² .a crop eq	39,08	25,25	500,51	0,017398206	0,00019268606	1,36
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	36,40	0,030355032	0,02	15,86	0,00065836319	2,00
Consumo de água	m ³	15,85	0,0038742833	552,81	0,022374768	0,004114628	1,55
Demanda Acumulada de Energia (CED)	MJ	37,58	19,26	0,91	75,63	0,043251676	275,66
Toxicidade humana, câncer	cases	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Toxicidade humana, não cancerígena	cases	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade de água doce	PAF.m ³ .day	0,080418231	0,00037028867	137,20	0,0049496085	310,69	0,07

3. Análise Comparativa entre os impactos ambientais do ciclo de vida dos Compósito 1 e Compósito 2.

PRODUTO 1: 1 kg Composito 1 (curauá + PEBD)			
PRODUTO 2: 1 kg Composito 2 (curauá + PEAD)			
MÉTODO: FIT: ReciPe + CED + UseTox_v2 V2.00			
INDICADOR: Caracterização			
Categoria de Impacto	Unidade	Composito 1 (curauá + PEBD)	Composito 2 (curauá + PEAD)
Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq	12,85	12,67
Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq	0,042098345	0,041358428
Eutrofização de água doce	kg P eq	0,0010365882	0,00089342284
Uso da terra	m ² .a crop eq	39,12	39,08
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	36,77	36,40
Consumo de água	m ³	15,93	15,85
Demanda Acumulada de Energia (CED)	MJ	37,84	37,58
Toxicidade humana, câncer	cases	0,00	0,01
Toxicidade humana, não cancerígena	cases	0,00	0,00
Ecotoxicidade de água doce	PAF.m ³ .day	0,080015106	0,080418231

4. Análise de Comparação com incerteza entre o compósito 1 (curauá + PEBD) e o compósito 2 (curauá + PEAD).

1 kg de Composito 2 (fibra de curauá + PEAD) (B) Análise de incerteza para 1 kg Composito 1 (fibra de curauá + PEBD) (A)								
Metodo: FIT: ReciPe + CED + UseTox_v2 V2.00 , intervalo de confiança: 95 %								
Categorias de Impacto	A >= B	Média	Mediana	SD	CV	2,5%	97,5%	SEM
Demanda Acumulada de Energia(CED)	55,5	3,22	35,28	38,14	11,84	-49,98	58,66	12,06
Escassez de recursos fósseis	60,2	0,032739514	0,044310311	0,4450034	13592242,00	-0,32833743	0,42200051	0,014072243
Ecotoxicidade de água doce	49,5	-0,00018158315	-0,00013153014	0,0086328634	-47542206,00	-0,01364915	0,013701239	0,00027299511
Eutrofização de água doce	99,2	0,00013686228	0,00014545461	0,00023558656	17,21	736,65	0,00021728529	74,50
Mudanças climáticas	60,3	0,20281028	0,21832148	1,42	70,12	-16,31	21,32	0,04497309
Toxicidade humana, cancer	51,7	0,00	0,00	0,01	-35,11	0,00	0,00	0,00
Toxicidade humana, não cancerígena	53,1	0,00	0,00	0,00	-53,58	0,00	0,00	0,00
Uso do solo	51,1	-13,16	0,0078562163	36,06	-27,40	-34,76	25,98	11,40
Acidificação terrestre	61,9	0,00078473344	0,0008449146	0,0049980621	63,69	-0,0052263738	0,0071492312	0,0001580526
Consumo de água	53,8	0,013980404	0,013038848	0,15337483	10,97	-0,2568438	0,29956648	0,0048501379
Intervalo de confiança: 95%								

5. Análise de Contribuição do processo de produção de fibra de curauá, considerando as etapas existentes no ciclo de vida.

Produto: 1 kg de fibra de Curauá								
Método: FIT: ReciPe + CED + UseTox_v2 V2.00								
Indicador: Caracterização								
Categoria de impacto	Unidade	Total	Desfibramento	Colheita	Tratos culturais	Plantio	Preparo da área	Produção de mudas
Mudanças climáticas	kg CO2 eq	15,43	0,98313934	0,00	0,00	0,0010152724	0,050054128	0,50857234
Acidificação terrestre	kg SO2 eq	0,0057492465	0,0038985012	0,00	0,00	34,54	0,00018871442	0,0016585768
Eutrofização de água doce	kg P eq	0,00035690092	0,0003160011	0,00	0,00	0,03	191,11	215,19
Uso da terra	m2a crop eq	50,51	0,041194705	0,00	0,00	375,62	50,40	0,06539073
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	0,60710064	0,48490054	0,00	0,00	0,00033035988	0,013348242	0,1085215
Consumo de água	m3	0,077485665	0,0027439544	0,00	0,00	26,73	0,00026231261	0,074476725
Demanda Acumulada de Energia (CED)	MJ	38,51	22,95	0,00	0,00	0,015932308	0,72579381	14,81
Toxicidade humana, câncer	cases	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toxicidade humana, não cancerígena	cases	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade de água doce	PAF.m3.day	0,0074057735	0,0035612681	0,00	0,00	30,02	0,0001301751	0,0037113284

6. Análise de Contribuição do processo de produção de mudas de planta de curauá.

Produto: 1 planta de Curauá													
Método: FIT: ReciPe + CED + UseTox_v2 V2.00													
Indicador: Caracterização													
Categoria de Impacto	Unidade	Total	Detergente neutro	Transporte	Tween	Alcool 70%	Água de torneira	Hipoclorito de sódio	Biocida	Sacarose	PEAD	Eletricidade	Resíduos de polietileno
Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq	0,1525717	32,96	21,80	0,04	32,41	39,90	0,00011330974	46,58	1,07	0,01	1594,17	-5,11
Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq	0,00049757304	0,13	0,06	0,00	3,74	0,22	4,41	0,05	0,17	146,88	2376,44	-0,01
Eutrofização de água doce	kg P eq	64,56	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02	0,06	0,03	0,00	12,13	49,69	-0,02
Uso da terra	m ² .a crop eq	0,019617219	35,34	5,03	0,14	0,37	2,89	31,30	1,10	16,90	419,39	3977,33	-0,30
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	0,03255645	16,01	7,04	0,01	18,16	9,88	282,23	14,32	0,83	0,00	2363,15	-2,13
Consumo de água	m ³	0,022343017	67,20	0,08	0,00	3,82	20,98	27,01	1,16	0,24	407,93	3422,30	-0,04
Demanda Acumulada de Energia (CED)	MJ	44,44	0,00010385323	360,83	0,35	0,00	648,78	0,0016499952	767,53	718,67	0,18	23,69	-104,46
Toxicidade humana, câncer	cases	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toxicidade humana, não cancerígena	cases	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade de água doce	PAF.m ³ .day	0,0011133985	1,76	1,05	0,04	274,51	0,47	1,39	0,02	1,26	119,31	2337,37	-0,01

7. Análise de Contribuição do processo de desfibramento, considerando os fluxos mássicos e energéticos.

Produto: 1 kg fibra de curauá										
Método: FIT: ReciPe + CED + UseTox_v2 V2.00										
Indicador: Caracterização										
Categoria de Impacto	Unidade	Total		Planta de Curauá	Transporte	Água da torneira	Gasolina	Eletricidade	Composto orgânico	
Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq	15,43	0,00	0,55964174	0,86968135	0,00019284291	0,11297464	0,00029050762	0,00	
Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq	0,0057492465	0,00	0,0018507454	0,0029588187	10,68	0,0009376621	9,53	0,00	
Eutrofização de água doce	kg P eq	0,00035690092	0,00	409,00	0,00023124917	0,97	846,45	0,10	0,00	
Uso da terra	m ² .a crop eq	50,51	0,00	50,47	0,032175481	13,97	0,0089666568	385,98	0,00	
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	0,60710064	0,00	0,1222001	0,28298594	477,31	0,20181015	567,18	0,00	
Consumo de água	m ³	0,077485665	0,00	0,074741711	0,0022899555	0,00029831053	0,00011166833	44,02	0,00	
Demanda Acumulada de Energia (CED)	MJ	38,51	0,00	15,56	13,65	0,0031357465	92,96	0,0084163179	0,00	
Toxicidade humana, câncer	cases	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
Toxicidade humana, não cancerígena	cases	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ecotoxicidade de água doce	PAF.m ³ .day	0,0074057735	0,00	0,0038445054	0,002571367	22,53	0,00098552961	21,19	0,00	

8. Análise de sensibilidade entre diferentes índices de fibra de curauá na produção do compósito (fibra de curauá + PEBD).

Produto 1: 1 kg Composito 1 (fibra de curauá + PEBD)

Método: FIT: ReciPe + CED + UseTox_v2 V2.00

Indicador: Caracterização

Categoria de Impacto	Unidade	5% (baseline)	10%	20%	30%	40%	50%
Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq	12853993,00	12798987,00	12688975,00	12578963,00	12468951,00	1235894,00
Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq	0,042098345	0,041957239	0,041675026	0,041392814	0,041110601	0,040828388
Eutrofização de água doce	kg P eq	0,0010365882	0,0010199301	0,00098661405	0,00095329798	0,0009199819	0,00088666582
Uso da terra	m ² .a crop eq	39117897,00	64360064,00	1148444,00	16532874,00	21581307,00	26629741,00
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	36765189,00	36204784,00	35083975,00	33963165,00	32842355,00	31721546,00
Consumo de água	m ³	15930305,00	15953234,00	15999094,00	16044954,00	16090813,00	16136673,00
Demanda Acumulada de Energia (CED)	MJ	37835165,00	37611625,00	37164544,00	36717463,00	36270382,00	35823301,00
Toxicidade humana, câncer	cases	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Toxicidade humana, não cancerígena	cases	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade de água doce	PAF.m ³ .day	0,080015106	0,080135097	0,080375078	0,080615059	0,08085504	0,081095021

9. Análise de sensibilidade de diferentes concentrações de mucilagem oriunda do desfibramento.

Produto 1: 1 kg Fibra de curauá

Método: FIT: ReciPe + CED + UseTox_v2 V2.00

Indicador: Caracterização

Categoria de Impacto	Unidade	90%	70%	50%
Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq	15,43	0,51426036	0,30855622
Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq	0,0057492465	0,0019164155	0,0011498493
Eutrofização de água doce	kg P eq	0,00035690092	0,00011896697	713,80
Uso da terra	m ² .a crop eq	50,51	16,84	10,10
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	0,60710064	0,20236688	0,12142013
Consumo de água	m ³	0,077485665	0,025828555	0,015497133
Demanda Acumulada de Energia (CED)	MJ	38,51	1,28	77,02
Toxicidade humana, câncer	cases	0,01	0,00	0,00
Toxicidade humana, não cancerígena	cases	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade de água doce	PAF.m ³ .day	0,0074057735	0,0024685912	0,0014811547