

Cianeto de Mandioca: viabilidade econômica do uso de manipueira para erradicação do mercúrio na mineração, e proposta para Bioeconomia Circular na Amazônia, Brasil

Cassava cyanide: economic feasibility of using manipueira to eradicate mercury in mining, and proposal for a Circular Bioeconomy in the Amazon, Brazil

Cianuro de yuca: viabilidad económica del uso de manipueira para erradicar el mercurio en la minería y propuesta de Bioeconomía Circular en la Amazonía, Brasil

Recebido: 05/05/2022 | Revisado: 26/05/2022 | Aceito: 27/05/2022 | Publicado: 06/06/2022

Rodrigo Gonçalves de Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6675-7645>
Universidade Federa do Amazonas, Brasil
E-mail: driggmaximusdelima@gmail.com

Renato Barboza da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5857-4056>
Universidade Federa do Amazonas, Brasil
E-mail: barbozasilva010@gmail.com

Helledsen Ramos da Silva Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6675-7645>
Associação Agrícola do Amazonas, Brasil
E-mail: helledsen@gmail.com

Rogério Eiji Hanada

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4544-4882>
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil
E-mail: rhanada.inpa@gmail.com

João Lúcio de Azevedo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0503-3525>
Universidade de São Paulo, Brasil
E-mail: jlazevedo@usp.br

Resumo

A mineração artesanal de ouro é uma atividade mundial que inclui cerca de 20 milhões de garimpeiros e produz até 450 toneladas/ano. O mercúrio é o principal reagente para extração de ouro em explorações artesanais, mas seu uso indevido pode contaminar o meio ambiente. Ao contrário do mercúrio, o cianeto (CN) pode ser volátil e não oferece risco de acúmulo ambiental. Novas tecnologias vêm sendo pesquisadas para a erradicação do mercúrio na mineração, e produzir "cianeto verde" de origem natural a partir da mandioca para substituir o uso do mercúrio na mineração, esta contém glicosídeos que gera cianeto e que podem ser usados para lixiviar o ouro (derreter o ouro), transformando-a na forma iônica para posterior recuperação com o uso do carvão ativado e eletrólise. O objetivo deste estudo foi mostrar a distribuição da produção de mandioca no Brasil, realizar breve consideração sobre os produtos gerados e apresentar suas potencialidades no uso regional do Amazonas, para tal foi feita busca de dados da produtividade da mandiocultura no Brasil em repositórios de órgãos públicos oficiais, compilado os dados e apresentado os resultados, tendo como principais conclusões que: É possível encontrar de forma abundante produtos cianogênicos em (caule, folhas e raízes) de mandioca – planta comestível da Amazônia, e gerar de 111 a 334 mil toneladas de CN-, Novos modelos econômicos podem contribuir para sintetizar produtos de alto valor tecnológico agregado na indústria ou agronegócio da mandiocultura e geração de renda para os amazonenses, principalmente para os amazonenses.

Palavras-chave: Cianeto; Mineração artesanal; Amazônia; Bioeconomia.

Abstract

Artisanal gold mining is a worldwide activity that includes about 20 million prospectors and produces up to 450 tons/year of mercury. Mercury is the main reagent for gold extraction in artisanal explorations, but its misuse can contaminate the environment. Unlike mercury, cyanide (CN) can be volatile and pose no risk of environmental accumulation. New technologies are being researched for the eradication of mercury in mining, and to produce "green cyanide" of natural origin from cassava to replace the use of mercury in mining, this contains glycosides that generate cyanide and that can be used to leach gold (melt the gold), transforming it into the ionic form for later recovery with the use of activated carbon and electrolysis. The objective of this study was to show the distribution of cassava production in Brazil, to briefly consider the products generated and to present their potential in the regional use of

Amazonas, for this purpose, a search for data on cassava productivity in Brazil in repositories of public bodies was carried out. officials, compiled the data and presented the results, with the main conclusions being that: It is possible to find abundant cyanogenic products in (stem, leaves and roots) of cassava – an edible plant from the Amazon, and generate from 111 to 334 thousand tons of CN -, New economic models can help to synthesize products with high added technological value in the cassava industry or agribusiness and generate income for the Amazonians, mainly for the Amazonians.

Keywords: Cyanide; Artisanal mining; Amazon; Bioeconomy.

Resumen

La minería artesanal de oro es una actividad mundial que involucra a cerca de 20 millones de buscadores y produce hasta 450 toneladas/año de mercurio. El mercurio es el principal reactivo para la extracción de oro en las exploraciones artesanales, pero su mal uso puede contaminar el medio ambiente. A diferencia del mercurio, el cianuro (CN) puede ser volátil y no presentar riesgo de acumulación ambiental. Se investigan nuevas tecnologías para la erradicación del mercurio en la minería, y producir “cianuro verde” de origen natural a partir de la yuca para reemplazar el uso del mercurio en la minería, este contiene glucósidos que generan cianuro y que pueden ser utilizados para lixiviar oro (fundir el oro), transformándolo a la forma iónica para su posterior recuperación con el uso de carbón activado y electrólisis. El objetivo de este estudio fue mostrar la distribución de la producción de yuca en Brasil, considerar brevemente los productos generados y presentar su potencial en el uso regional de Amazonas, para ello, se realizó una búsqueda de datos sobre la productividad de la yuca en Brasil en repositorios de organismos públicos, funcionarios, recopiló los datos y presentó los resultados, siendo las principales conclusiones que: Es posible encontrar abundantes productos cianogénicos en (tallo, hojas y raíces) de la yuca, una planta comestible de la Amazonía, y generar de 111 a 334 mil toneladas de CN-, Nuevos modelos económicos pueden contribuir a sintetizar productos de alto valor tecnológico agregado en la industria de la yuca o agroindustria y generación de ingresos para los amazónicos, principalmente para los amazónicos.

Palabras clave: Cianuro; Minería artesanal; Amazonía; Bioeconomía.

1. Introdução

A mineração artesanal de ouro (AGM sigla em inglês) é uma atividade mundial (mais de 70 países) que inclui cerca de 20 milhões de garimpeiros e produz até 450 toneladas/ano de ouro (Seccatore et al., 2014). O mercúrio (Hg) é o principal reagente para extração de ouro em explorações artesanais, mas seu uso indevido pode ter resultado na liberação de mais de 2.000 toneladas/ano no meio ambiente (UNEP, 2020). AGM é a principal fonte antrópica de contaminação por mercúrio (Esdaile & Chalker 2018).

Ao contrário do mercúrio, que é altamente persistente no meio ambiente, o cianeto (CN) é volátil e não oferece risco de acúmulo ambiental (Logsdon, Mark et al., 1999). A lixiviação com cianeto é atualmente o processo dominante usado pela indústria de mineração de ouro convencional para extrair ouro (e prata) por mais de 100 anos (SGS, 2018). Este método econômico e comprovadamente eficiente oferece recuperação máxima para vários minérios de ouro, incluindo minérios de baixo teor e refratários. Sua grande utilização se deve a sua ampla versatilidade e alta eficiência na extração de ouro (Gavin Hilson & Monhemius, 2006).

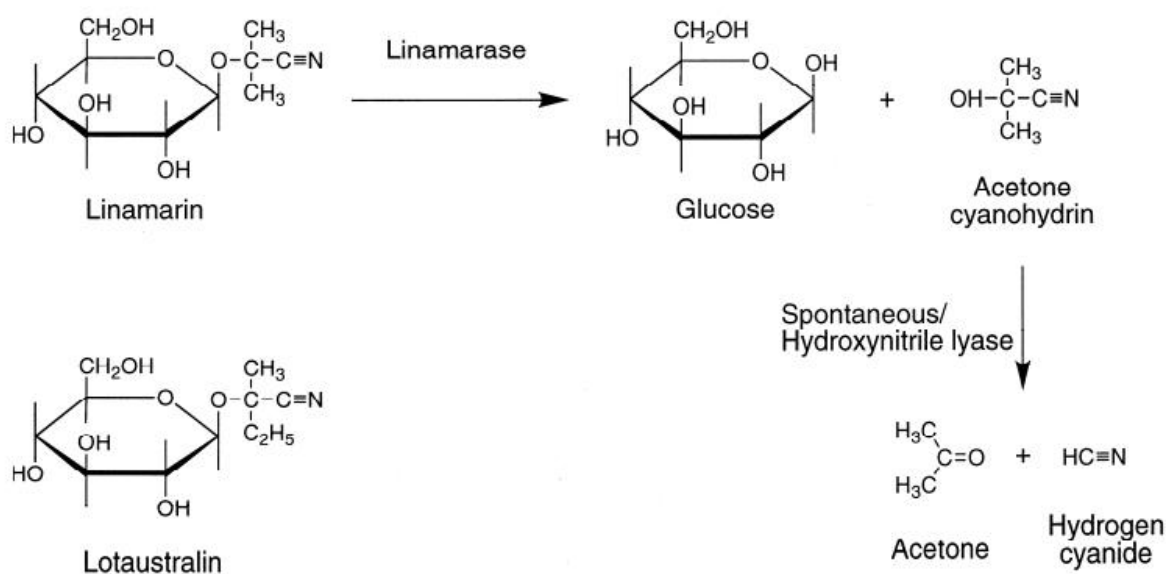
1.1 Lixiviação de ouro com plantas cianogênicas novas abordagens de aplicação

Os glicosídeos cianogênicos é potencialmente um reagente para lixiviar ouro. A Amazônia também possui uma grande variedade de plantas com esse potencial, a mandioca é um dos alimentos básicos da população. Existem cerca de 98 espécies de mandioca com diferentes níveis de glicosídeos cianogênicos. A Casava, por exemplo, possui dois glicosídeos principais: 95% de Limarina e 5% de Lotaustralina. Com alta variabilidade genética influenciada por fatores edafoclimáticos, a mandioca possui em suas paredes celulares a enzima linamarase, que quando a planta é esmagada, a linamarase reage com a linamarina formando glicose e cianidrina.

1.2 Teoria de lixiviação de ouro com manipueira

Em 2017, no Brasil, foram produzidas 706.652 toneladas de farinha de mandioca por 355.207 moinhos de farinha - “casas de farinha”. Os moinhos de farinha são bem rústicos no Brasil e a raiz descascada é triturada e prensada para eliminar 30% do líquido chamado “manipueira”. Nesse processo, a linamarina entra em contato com a enzima linamarase e, por hidrólise, o ácido cianídrico (HCN) é gerado (Alexander Essers, 1994). O HCN (aq) pode ser volatilizado em pH natural de 5. A manipueira pode ser estabilizada em pH alcalino e CN⁻ torna-se predominante. Algumas mandiocas podem ter 2,4g de cianeto/kg de planta. Esses subprodutos metabólicos podem ser aplicados para lixiviar ouro. As partículas de ouro expostas entram em contacto com um agente oxidante forte, por exemplo: oxigênio, ozônio, peróxido, etc. dissolvendo ouro como um complexo de cianeto: $4Au + 8CN^- + O_2 + 2H_2O = 4Au(CN)_2^- + 4OH^-$ neste processo a estabilidade do cianeto livre (HCN ou CN⁻) depende de o pH (Aliprandini et al., 2020) conforme Figura 1.

Figura 1: Esquema simplificado da hidrólise da linamarina para síntese de Cianeto de hidrogênio.



Fonte: Bolarinwa et al. (2016).

1.3 Extrato de mandioca – outras informações

Aproximadamente 28 milhões de pessoas vivem apenas na Amazônia brasileira e dependendo dos recursos naturais da região (Piquet et al., 2020). A abordagem aqui discutida representa uma possibilidade da utilização do conhecimento científico e tradicional para fornecer soluções ambientais e sociais para o problema do mercúrio (Bansah et al., 2016; Seccatore & de Theije, 2017). O potencial uso de plantas locais com fonte de cianeto para fins de lixiviação de ouro, pode ser um passo importante para um processo mais econômico e eficiente em métodos de recuperação de ouro de pequeno porte (Torkaman et al., 2021). Com gestão cuidadosa e protocolos para controlar efeitos do cianeto ao meio ambiente e às pessoas, esta proposta pretende fornecer aos garimpeiros artesanais locais um método para minimizar e até eliminar o uso de mercúrio (Torkaman et al., 2021).

O estudo de plantas cianogênicas, como a mandioca, além de sua importância local e regional, podem contribuir para o aumento de valor na cadeia produtiva de alimentos a partir de sua biomassa (FAO, 2022), além de gerar valor agregado subprodutos anteriormente descartados como rejeitos (A. E. Burns et al., 2012; Torkaman et al., 2021). Para isso são necessárias pesquisas no sentido de: 1 – acessar diferentes tipos de plantas cianogênicas da região amazônica; 2 – acessar os

níveis de glicosídeos cianogênicos e a geração de cianeto livre; 3 – extração de cianeto livre das folhas, caules e outras partes das plantas; 4 – testar os glicosídeos cianogênicos lixiviando ouro.

Testes utilizando manipueira na Colômbia de uma operação de mineração artesanal, revelaram que 50% do ouro pode ser solúvel em 24 h com manipueira em pH 10,5 e laboratoriais preliminares usando extratos de mandioca do Brasil com 267 ppm de cianeto livre resultaram em recuperações de ouro promissoras entre 50 e 60% de um minério de alto teor com 49 ppm de Au (Torkaman et al., 2021). Os autores destacaram a necessidade de investigação de espécies de mandioca com maiores teores de glicosídeos e condições para gerar mais cianeto ao longo do tempo.

Este artigo justifica-se à medida que os benefícios desse conhecimento podem compreender a dinâmica para favorecer os mineradores Artesanais: 1 – Aborda e fornece uma alternativa eficaz para as preocupações globais da mineração artesanal quanto ao uso de mercúrio; 2 – diminui os riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente do uso de mercúrio para extração de ouro na mineração artesanal; 3 – contribui para questões de saúde humana nas economias em desenvolvimento.

Para empresas os benefícios desse estudo se aplicam para: 1 – fornecer um lixiviante alternativo (a partir de fontes de plantas locais) para pequenas operações; 2 – desenvolvimento de métodos simplificados de extração de ouro de minérios de concentrações variáveis; 3 – os potenciais benefícios do uso de resíduos vegetais, após a extração de ouro para restauração do local (corretivos orgânicos para reestabelecimento da vegetação como fonte de remediação)

2. Metodologia

O objetivo deste estudo foi mostrar a distribuição da produção de mandioca no Brasil e nos estados brasileiros, realizar breve consideração sobre os produtos gerados e analisar os preços bruto no maior estado produtor de mandioca comparado com Amazonas no Ano de 2020, para tal foram feitas busca de dados da produtividade da mandiocultura no Brasil em repositórios de órgão públicos oficiais como EMBRAPA, IPEA, MAPA, CONAB, FAO com as seguintes palavras de buscas (Produtividade de mandioca, produtividade de mandioca no Brasil e mundo, maiores produtores de mandiocas do mundo, usos da mandioca), houve recorte temporal para os últimos cinco anos retroativo de 2022, para critérios de elegibilidade (inclusão e exclusão de artigos) buscou-se apenas apresentar dados de órgãos oficiais ou aqueles que tem alta relevância dentro do cenário agrícola e com frequência é consultado ou parceiros desses organismos, esta pesquisa foi baseada no modelo teórico conceitual de (Godoy, 1995) e (Pereira et al., 2018). posteriormente compilado as quantidades e os valores de produção para o Estado do Amazonas de modo que inferências diretas nas massas e volumes produzidas e colhidas de mandioca pudesse expressar a potencial quantidade de cianeto gerada, o resultado é demonstrado durante o resultado e discussão.

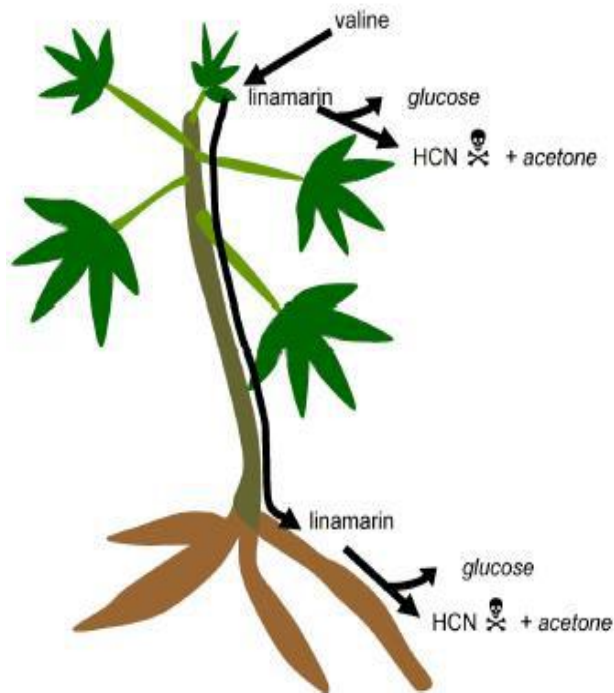
Na segunda parte do artigo é apresentado uma síntese dos conceitos das principais teorias microeconômicas proposta de um novo modelo econômico de operação de modo microeconômico na Amazônia utilizando de forma sinérgica as teorias anteriores apresentadas.

3. Resultados e Discussão

3.1 Mandioca

A mandioca tem origem amazônica (A. Burns et al., 2010) e é o 3º mais importante fonte de calorias no trópicos e o 6º mais importante cultura alimentar no mundo depois da cana-de-açúcar, milho, arroz, trigo e batata. Mais de 800 milhões de pessoas no mundo têm a mandioca como alimento básico (A. Burns et al., 2010).

Figura 2: Síntese de cianeto em diferentes partes das plantas na defesa de pragas e doenças.



Fonte: Burns et al., (2010).

Cerca de 98 espécies de mandioca com diferentes níveis de os glicosídeos cianogênicos. A mandioca contém 2 glicosídeos cianogênicos: Linamarina (95%) e Lotaustralina (5%). (Siritunga & Sayre, 2004) A mandioca também possui uma enzima linamarase que está em a parede celular da planta. Quando a planta é esmagada, a linamarase encontra o linamarina formando glucose e cianidrina. A cianidrina se decompõe espontaneamente em acetona e cianeto livre (HCN), Geralmente o pH é em torno de 6. (Białek M. et al., 2016; Torkaman et al., 2021; Vieira, 2006) conforme Figura 2.

3.2 lixiviação de ouro com *manihot esculenta crantz*: novas abordagens de aplicação

A bioprospecção é o modelo de tecnologia aplicada que se enquadra no desenvolvimento sustentável, assim, os produtos biotecnológicos são ferramentas fundamentais para a gestão da inovação a serem utilizadas nas Cadeias Produtivas, C&T: Circuitos, Escalas e Gestão para trazer Aprendizagem e Capacitação Tecnológica, para fins de Divulgação de Conhecimento e Inovação para a Amazônia. A mandioca possui grande quantidade de glicosídeos cianogênicos que hidrolisam em água para formar cianeto livre e acetona (Jaszczak et al., 2017), é uma alternativa a ser pesquisada como alternativa ao uso de mercúrio em ASgM, podendo se tornar um produto do amadurecimento recursos biotecnológicos e tecnológicos da região amazônica na substituição do mercúrio por plantas cianogênicas originárias da região amazônica.

Os glicosídeos de cianeto estão presentes em pelo menos 2.000 espécies de plantas e nunca foram investigados como reagentes para lixiviar ouro. A Amazônia também possui uma grande variedade de plantas com esse potencial, a mandioca é mais que um dos alimentos básicos da população, possui importante aplicação na indústria e seu processamento agrega em seus subprodutos como matéria prima em diversas indústrias, tanto alimentícias quanto não alimentícias, existem cerca de 98 espécies de mandioca com diferentes níveis de glicosídeos cianogênicos (95% de Linamarina e 5% de Lotaustralina)(Barney, 2018b, 2018a; García et al., 2015) fazendo com que tenha alta variabilidade genética influenciada por fatores edafoclimáticos,

a mandioca possui a enzima Linamarase em sua célula paredes, quando a planta é esmagada, a linamarase encontra a linamarina formando glicose e cianidrina.(Jaszczak et al., 2017)

3.2.1 aspectos tecnológicos do uso da mandioca

A mandioca é a terceira fonte alimentar mais importante no trópico úmido (Figura 3) , depois do arroz e do milho, e é o alimento básico de cerca de 700 milhões de pessoas (A. Burns et al., 2010; EMBRAPA, 2017) seu como fonte de alimento está aumentando principalmente na África, porque ela rende bem mesmo em solos pobres e com pouco ou nada de fertilizantes, é altamente tolerante e resistente à seca e outros tempos ambientais adversos sendo que a raiz pode ser deixada no solo por até 3 anos como fonte de reserva de alimento, em algumas regiões no nordeste brasileiro pode se estender a 5 anos . em período de estiagem, as folhas caem, a planta mante-se viva devido as grandes quantidades de raízes e reservas energéticas nelas contida, quando as chuvas vêm, as folhas voltam a brotar. Outra observação importante é que as raízes são muito amiláceas com menor teor de proteína em comparação com outras raízes tropicais.

Figura 3: A mandioca e seus diferentes uso da raiz e folhas.

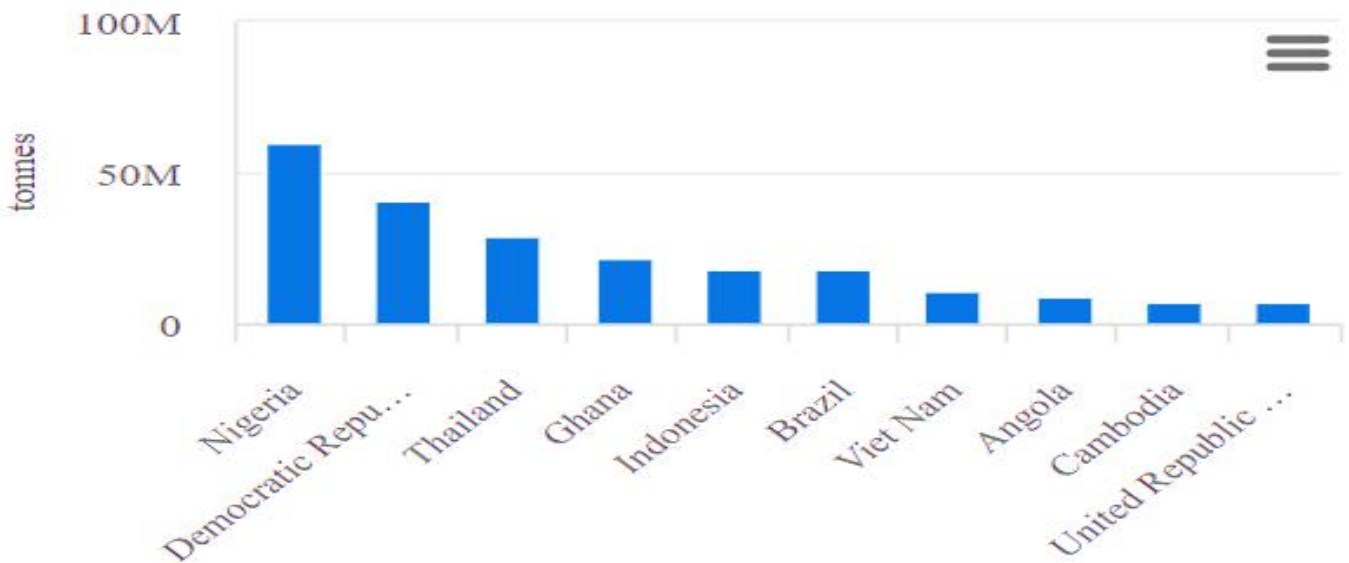


Fonte: Autores.

3.3 Produtividade no brasil

O Brasil, um dos maiores produtores mundiais de mandiocultura, nos anos 2000 ocupava a segunda posição na produção mundial (Brabo, 2007; EMBRAPA, 2017), participando com 12,7% do total .(EMBRAPA, 2003), em 2020 tinha descaído quatro posições estando em 6º maior produtor de mandioca do mundo, com 18, ficando atras de países como Nigéria 60, congo 41, Tailândia 28 e Gana 21 milhões de toneladas produzidos (FAO, 2022).

Gráfico 1: Ranking dos países que mais produzem mandioca.



Fonte: (FAOSTAT) FAO (2022).

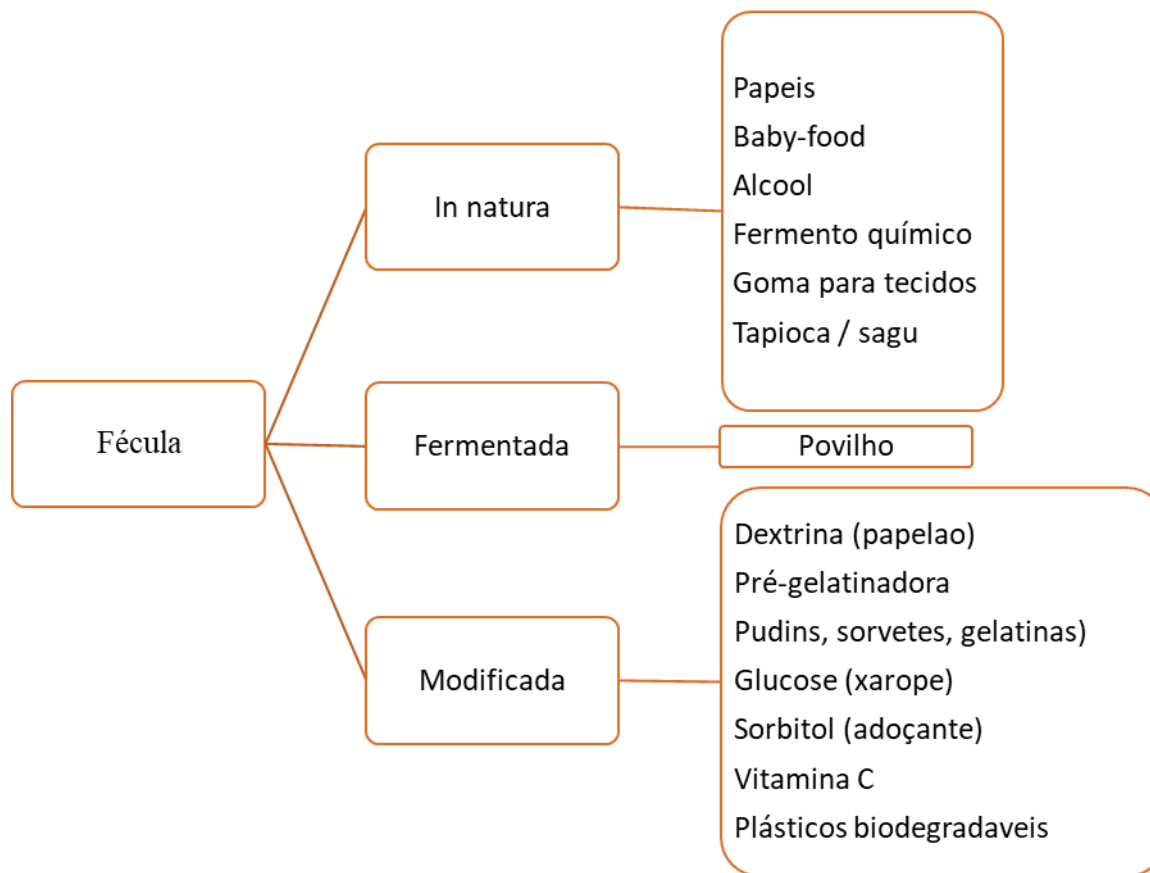
A mandiocultura tem predomínio de cultivo em todas as regiões do Brasil, tem elevada importância na segurança alimentar assumindo tanto humana quanto animal, também é utilizada como fonte de matéria-prima em diversos setores produtivos industriais (Guimarães et al., 2022), no aspecto social abriga relevante contribuição na geração de emprego e de renda, especialmente nas regiões economicamente mais pobres.

Considerando-se a fase de produção em campo e o processamento de farinha e fécula, estima-se que um milhão de empregos diretos são gerados, fazendo que a renda bruta anual seja em torno de a 2,5 bilhões de dólares no Brasil (EMBRAPA, 2003).

A produção de mandioca que é transformada em farinha e fécula gera, respectivamente, uma receita equivalente a 600 milhões e 150 milhões de dólares, respectivamente. Dentre os principais estados produtores destacam-se:

Pará, Paraná, São Paulo e Amazonas que somados correspondem por 59% da produção do país. A produção por região o Nordeste tem a participação de 34,7% da produção, mas com baixo rendimento médio de apenas 10,6 t/ha. Nas demais regiões as participações na produção nacional são: Norte (25,9%), Sul (23,0%), Sudeste (10,4%) e Centro-Oeste (6,0%). Sendo a Regiões Norte e Nordeste principais produtoras e consumidoras principalmente para uso na massa social e na forma de farinha, tapiocas. Nas Regiões Sul e Sudeste os rendimentos médios são de 18,8 t/ha e 17,1 t/ha, destinado a priori a indústria. (Brabo, 2007; EMBRAPA, 2003, 2017), na Figura 4 mostra os principais elos da cadeia de produção e utilização dos produtos da mandioca e seus produtos gerados.

Figura 4: Principais produtos da cadeia da mandiocultura.



Fonte: EMBRAPA (2003).

Na tabela é possível observar que houve que de 24 milhões de tonelada de meados dos anos 200 para 18 milhões de toneladas por hectare no Brasil (IBGE, 2020), causando pressão no fornecimento de matéria prima à indústria e no setor alimentício, é possível ver que o Pará e Amazonas (1º e 4º maiores produtores respectivamente) não tiveram grande variação na produção já que estes são um dos principais bases da alimentação regional, dispensando grande investimentos tecnologias e com clima sem grande variação atípicas de chuvas, favorecendo assim a estabilidade de produção ao longo do ano, apesar disso, o rendimento em kg/ha é maior no estado do Pará em relação ao Amazonas, 14 t/há e 11t/há respectivamente.

Tabela 1: Mandioca em números produção agrícola - lavoura temporária ano 2020.

Mandioca	Brasil	Amazonas	Pará	
Quantidade produzida	18.205.120	890.124	3.813.369	t
Valor da produção	10.887.678,00	900.348,00	2.178.350,00	(x)1000) R\$
Área plantada	1.234.523	79.742	275.730	ha
Área colhida	1.214.015	76.774	270.288	ha
Rendimento médio	14.996	11.594	14.109	kg/ha

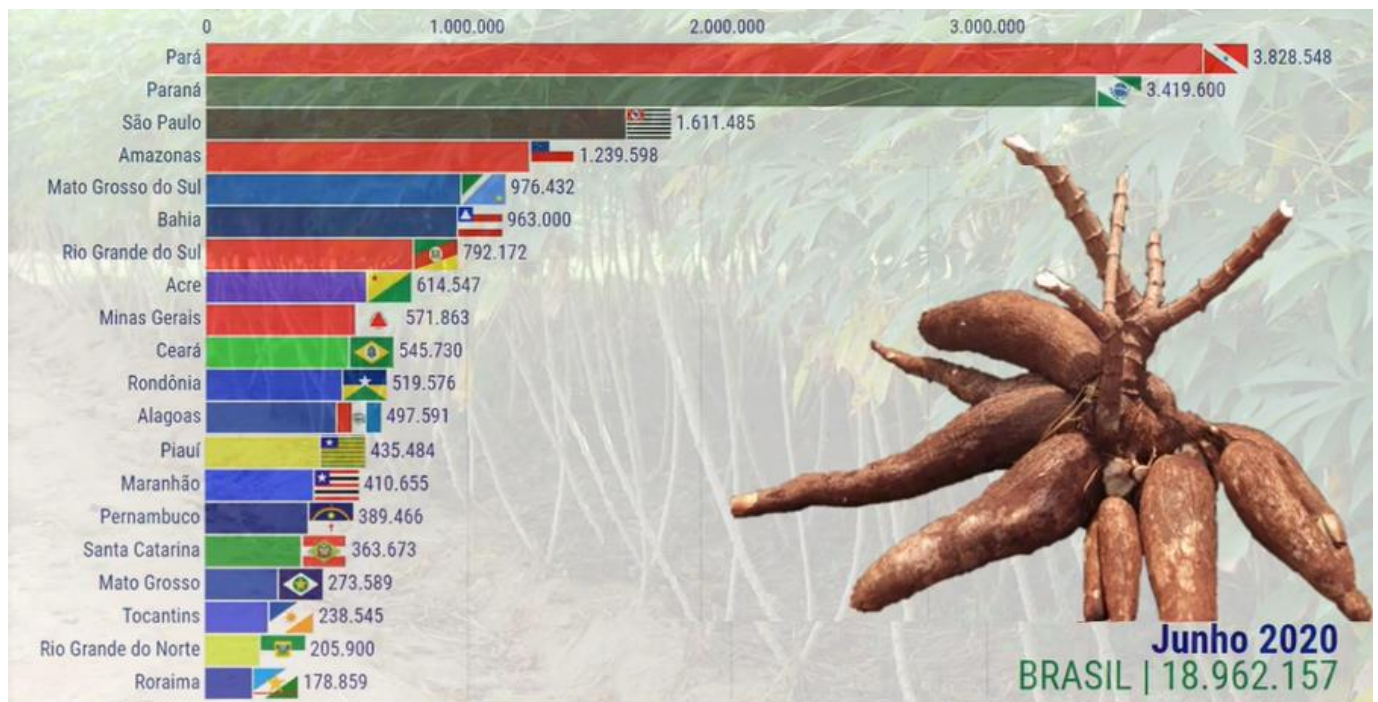
Fonte: IBGE, (2020).

3.4 Produção de mandioca no Brasil

A produção mundial de mandioca apresenta um crescimento contínuo e atualmente registra uma produção de 274,7 milhões de toneladas (DERAL, 2019). A produção anual de mandioca no Brasil em 2020 foi algo em torno de 18 milhões de toneladas. A produção de mandioca movimentada no Brasil cerca de R\$ 12 Bilhões de reais ao ano (Figura 5; Figura 6) de mandioca, fazendo-o o 6º colocado em produtividade mundial (ONU, 2022), em contexto regional o estado do Pará se consolidou o maior produtor brasileiro, com 22% de toda a produção. sendo a 3ª lavoura mais produtiva desse estado (R\$ 1,83 bilhões) (SEDAP, 2022).

No estado do Pará, (Figura 6) mesmo que o aumento do rendimento da produtividade de 3,8 para 4,0 milhões de t/ha seja um fator positivo, ainda é baixo quando considerado t/ha – que fica entorno de 14 t/ha, ficando em 16ª posição quando ranqueado com as outras 27 unidades da federação (ABAM, 2021), o Pará apresenta o maior consumo “per capita” de farinha, estimado em 35 kg/ano (DERAL, 2019).

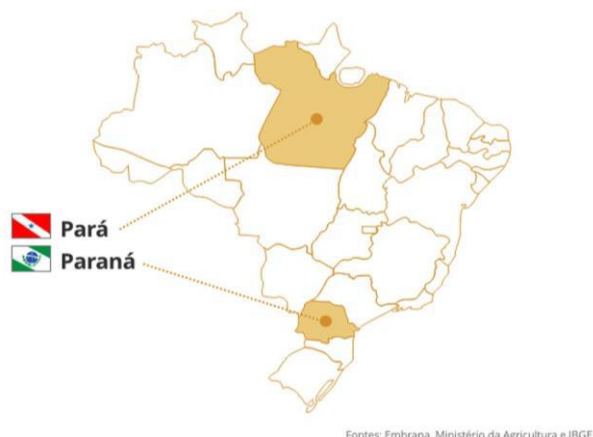
Figura 5: Os estados com maior produção de mandioca no Brasil.



Fonte: IBGE (2020).

A região norte e nordeste representa 60% da produção de mandioca do Brasil, o Pará o maior produtor da região norte tem uma área plantada de 279 mil hectares mas com uma produtividade baixa 13845 t/ha, já o maior produtor da região sul, o Paraná, tem 142 mil hectares plantados de mandioca mas com altíssima produtividade em t/ha quando comparado com o Pará (24528 t/há), sendo que a produção da região norte é voltada para o consumo humano em forma principalmente de farinha e na região sul para a indústria. Ambos representam a produção de 20 e 18.1% respectivamente. (DERAL, 2019).

Figura 6: Maiores produtores de mandioca do Brasil (Estado do Pará e Paraná).



Fonte: Federação ABAM, (2021), o Pará apresenta o maior consumo “per capita” de farinha, estimado em 35 kg/ano DERAL, (2019)

Tabela 2: Mandioca- principais estados- área, produção e produtividade 2018/19.

Regiões/Estados	Área (1000 ha)	Produção (1000t)	Produtividade (Kg / ha)	Participação %
NORTE	495	6.675	13.485	34,5
PARÁ	279	3.871	13.875	20,0
AMAZONAS	126	1.332	10.572	6,9
ACRE	36	994	27.611	5,1
OUTROS	54	478	8.852	2,5
NORDESTE	454	4.557	10.038	23,6
BAHIA	171	1.858	10.866	9,6
MARANHÃO	58	444	7.655	2,3
CEARÁ	62	489	7.887	2,5
OUTROS	163	1.766	10.834	9,2
SUL	213	4.786	22.470	24,8
PARANÁ	142	3.483	24.528	18,1
RIO G. DO SUL	50	896	17.920	4,6
S. CATARINA	21	407	19.381	2,1
SUDESTE	112	2.018	18.018	10,5
MINAS GERAIS	39	535	13.718	2,8
SÃO PAULO	53	1.199	22.623	6,2
OUTROS	20	284	14.200	1,5
CENTRO OESTE	68	1.265	18.603	6,6
MATO G. DO SUL	37	821	22.189	4,3
MATO GROSSO	19	261	13.737	1,4

Fonte: DERAL, (2019).

Desde 2011 (Gráfico 2) Rendimento médio em (t/ha) tanto do Amazonas quanto Pará, 11 e 14 (t/ha) respectivamente é baixo quando comparado com outras médias nacionais que podem chegar a acima dos 22 t/ha como São Paulo e Mato Grosso e 24 t/ha em paraná, muitas vezes refletindo a destinação final do produto (se uso tradicional ou industrial) bem como o uso de tecnologia no preparo de terra para cultivo, porém no Brasil a média móvel mantm-se estável próximo a 12 (t/ha).

Desde 2009 (Gráfico 3) rea colhida em hectare vem reduzindo-se de 1.800.000 para 1.400.00 ha em 2020, no entanto nada alterando a área cultivada no Amazonas e Pará, 13 e 10.5 t/ha respectivamente, que permaneceram praticamente inalterados, isso reflete a diminuição da produção em outras regiões, escassez de produtos para indústria e alimentação.

Valor da produção (Gráfico 4), desde 2009 reflete diretamente a área colhida, isto é, houve diminuição no investimento desde 2009 até 2020 e  possível perceber analisando o gráfico 3 que com a diminuição da produção, houve menor colheita de mandioca, mas novamente, esses reflexos não afetaram a produção no Pará e Amazonas, que mantiveram os dados inalterados quanto a área colhida x valor da produção.

O Gráfico 5, (rea plantada em ha) quando relacionado com (Quantidade produzida (t)),  perceptível a relação de proporcionalidade, pois no Brasil  medida que há diminuição da área plantada, pode inferir que há diminuição na quantidade na produção de mandioca, mas o mesmo não  perceptível quando somente comparados o Estado do Pará e Amazonas, eles continuam com suas áreas plantadas e quantidades produzidas de mandiocas de forma linear, praticamente não sofrendo nenhuma alteração, da mesma forma que foi observado nos gráficos anteriores.

Gráfico 2: Mandioca / Rendimento médio (Kg/ha).

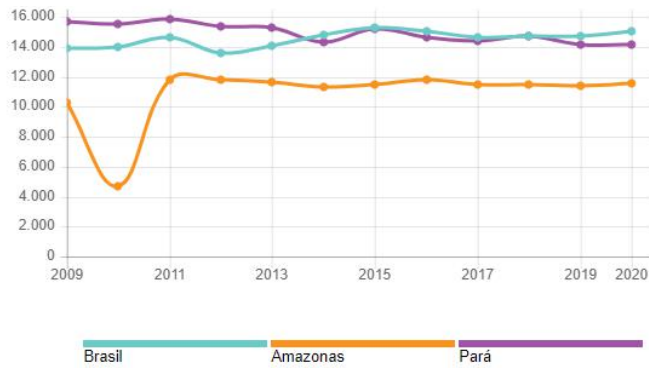


Gráfico 3: Mandioca / Area colhida (há).

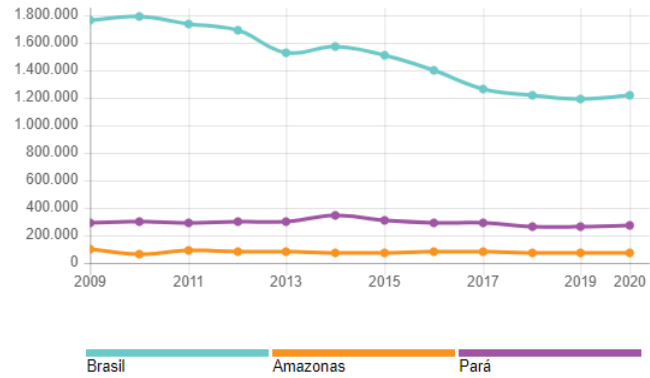


Gráfico 4: Mandioca / Valor da produção (R\$ x 1000).

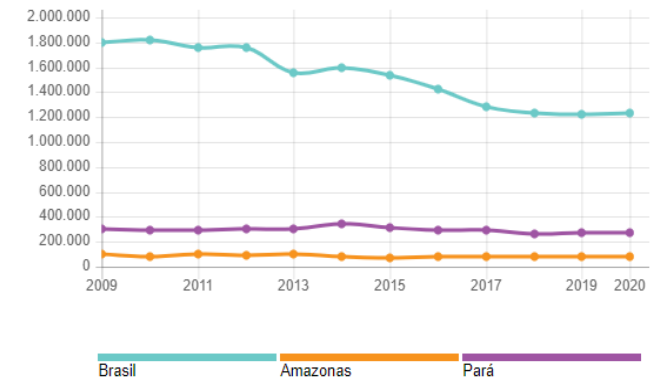


Gráfico 5: Mandioca / Área plantada (ha)

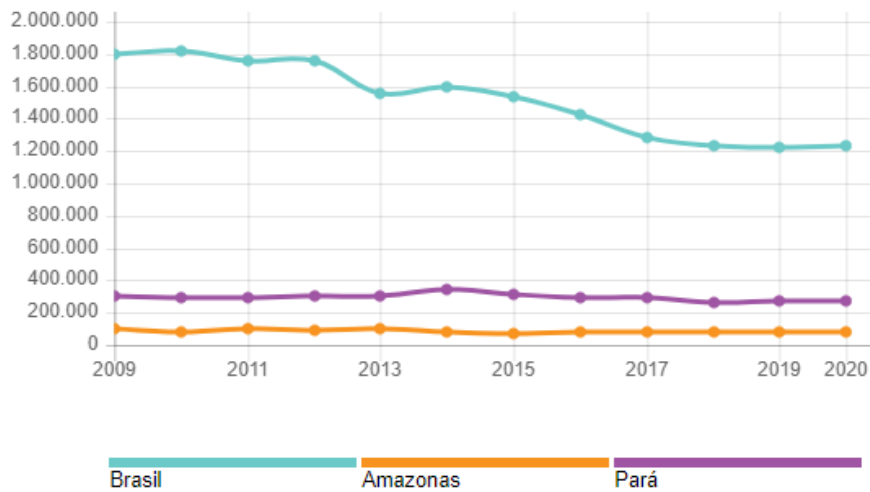
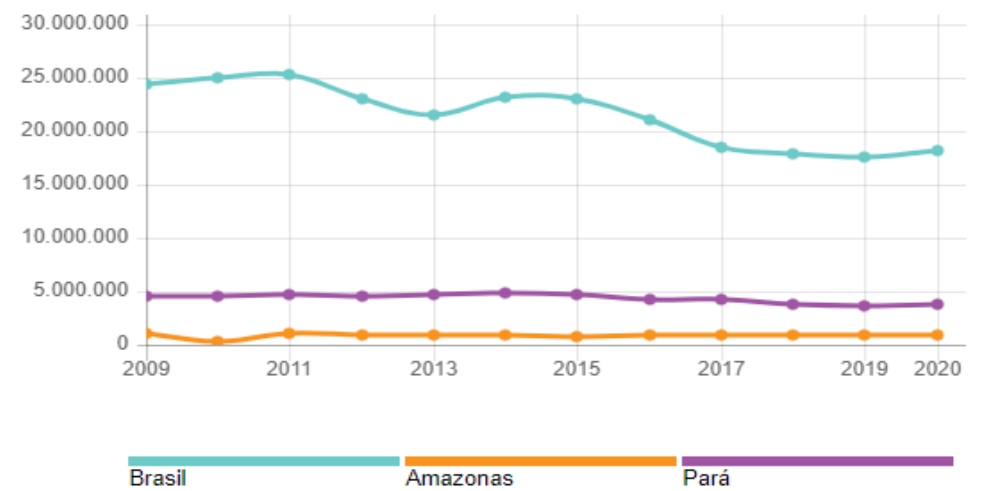


Gráfico 6: Mandioca / quantidade produzida (t)



Fonte: ONU (2022).

3.5 Desenvolvimento sustentável da bioeconomia

A integração da atuação de estudos no campo da tecnologia e ecologia de forma aplicada pode ser entendida como ecotecnologia, tem objetivo de minimizar impactos ambientais criando projetos sustentáveis atendendo o corpo social através das estruturas ecossistêmicas.

- Bioeconomia
- Economia circular
- Arranjo produtivos locais
- Bioeconomia circular
- Microeconomia

3.5.1 Bioeconomia ou economia verde

O desenvolvimento sustentável só é possível uma vez que seus três pilares fundamentais (social, ambiental e econômico) (Carvalho, 2015; ONU, 2018) alcançados integralmente, isto é, que os recursos ambientais sejam utilizados de modo racional e os fatores econômicos sejam positivamente refletido em equidade na distribuições de bens e serviços no corpo social.

Bioeconomia é um modelo de produção industrial baseado no uso de recursos biológicos. O objetivo é oferecer soluções para a sustentabilidade dos sistemas de produção com vistas à substituição de recursos fósseis e não renováveis. movimentada no mercado mundial cerca de 2 trilhões de euros e gera cerca de 22 milhões de empregos (EMBRAPA, n.d.) desta forma destaca-se a interação da economia circular e benefícios sociais, ambientais e coletivos (CNI, 2020)

A nível regional diversos institutos de pesquisas tem entendido que os insumos amazônicos têm fortes possibilidades de contribuir de diversas formas em segmentos distintos e, neste sentido, tem por objetivo colaborar com o estímulo de bionegócios regionais que potencializem a utilização sustentável destes bens originários da maior floresta tropical do mundo, a exemplo desses institutos de pesquisas na região norte do Brasil: Centro de Biotecnologia da Amazônia (CBA), Universidade Federal do Amazonas, Instituto nacional de pesquisas da Amazônia – (INPA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) dentre outros.

Cada instituto tem sua especificidade mas, é comum a todos a busca de soluções disruptivas para uma sociedade sustentável (CROPLIFE BRASIL, 2022), na geração de produtos e processos (P&d) por exemplo, o CBA Identifica e tem por objetivo atuar em:

- Ser um centro de inteligência da biodiversidade amazônica;
- Ser o maior parque tecnológico e hub de bionegócios da região Norte do Brasil;
- Atuar no desenvolvimento de bioprodutos e geração de negócios;
- Prestar serviços qualificados para a indústria, agricultura e de apoio ao meio ambiente;
- Apoiar a criação e o desenvolvimento do polo de bioindústrias;
- Incubar e acelerar empresas de base tecnológica;
- Contribuir com os normativos para melhorar o ambiente de bionegócios.

Enquanto o Portfólios de projetos da Embrapa ([Embrapa, 2022](#)) estão alinhadas aos seguintes portfólios de projetos e desafios para Inovação:

Biotecnologia Avançada Aplicada ao Agronegócio

- Maximizar o desenvolvimento de cana de açúcar, milho e eucalipto pela adoção de TIMPs (Técnicas Inovadoras de Melhoramento de Precisão) e microrganismos geneticamente modificados para a oferta de novos bioprodutos em biorrefinarias
- Viabilizar biofábricas de plantas, animais e microrganismos para a produção de biofármacos, bioplásticos, cosméticos e blocos construtores, por técnicas biotecnológicas

Insumos Biológicos

- Expandir o controle biológico conservativo de pragas, doenças e fitonematoides nos sistemas de produção de grãos, hortaliças, fruteiras e na agricultura orgânica
- Substituir insumos sintéticos por ativos biológicos para contornar limitações produtivas das principais commodities agropecuárias (soja, milho, trigo, algodão, açúcar, citros, café, celulose e carnes suína, frango e bovina)
- Substituir ou diminuir o uso de fertilizantes de origem não renovável por insumos de base biológica nas culturas do feijão, feijão-caupi, soja, milho, algodão, pastagens e cana-de-açúcar

Nanotecnologia

- Otimizar nanomateriais para a indústria de alimentos, materiais, pós-colheita e embalagens pelo reaproveitamento de resíduos agropecuários, agroindustriais e florestais
- Otimizar o aproveitamento na agropecuária e prover fontes alternativas de fertilizantes usando nanotecnologia

Energia, química, tecnologia da biomassa

- Ampliar a geração de energia renovável pelo reaproveitamento de resíduos agroindustriais do sorgo, capim elefante e cana-de-açúcar e de esterco de suínos, bovinos e da cama de aviários via processos de digestão anaeróbica
- Ampliar o uso da biomassa vegetal para a produção de plásticos e materiais renováveis e/ou biodegradáveis
- Ampliar o uso de matérias-primas renováveis e disponíveis nas regiões Sul, Norte, Nordeste e Centro-Oeste para a produção de combustíveis e energia
- Viabilizar novos produtos e energia limpa a partir do processamento de grãos de soja e milho e de resíduos das indústrias de açúcar, álcool, papel e celulose
- Viabilizar novos produtos e energia limpa a partir do processamento de grãos de soja e milho e de resíduos das indústrias de açúcar, álcool, papel e celulose
- Viabilizar o uso de fontes renováveis para a produção de adjuvantes de pulverizações agrícolas e de solventes para uso industrial
- Viabilizar processos agroindustriais que ampliam a produção de etanol e de energia renovável a partir de sorgo sacarino, milho e cana-de-açúcar
- Viabilizar rotas tecnológicas eficientes economicamente e ambientalmente para o uso de lignina na produção de energia, compostos químicos e materiais renováveis

Fibras e biomassa para uso industrial

- Ampliar a participação de outras matérias-primas na matriz de óleos usados para produção de biodiesel e bioquerosene de aviação
- Ampliar a viabilidade econômica do uso do sorgo e milho para a produção de etanol, energia e biogás nas regiões Sudeste e Centro-Oeste
- Intensificar a fixação biológica de nitrogênio e de promotores de crescimento nas culturas da cana-de-açúcar, capim-elefante e sorgo
- Viabilizar a produção de bioenergia nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste através de sistemas de produção agroindustriais inovadores e fundamentados na cultura do capim-elefante (Embrapa, 2022)

O desenvolvimento regional passa pela bioeconomia e o Brasil tem como diferencial toda riqueza da vasta biodiversidade da Amazônia. Sua correta utilização pode resultar em um avanço sustentável da região e gerar emprego e renda à sociedade, complementando a matriz econômica local, atualmente centrada nos benefícios oriundos do modelo Zona Franca de Manaus (ZFM)

3.5.2 Economia circular

Conceitualmente associa desenvolvimento econômico a um melhor uso de recursos naturais, por meio de novos modelos de negócios e da otimização nos processos de fabricação com menor dependência de matéria-prima virgem, priorizando insumos mais duráveis, recicláveis e renováveis

Segundo o guia 8001:2017 (British Standards Institute, 2017; BSI, 2017) é um sistema econômico que utiliza uma abordagem sistêmica para manter o fluxo circular dos recursos, por meio da adição, retenção e regeneração de seu valor, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Para tanto se faz necessário ampla discussão e diálogo com o setor industrial, governamental e academia de ciências de modo que modelos e propostas de inovação, pesquisa e desenvolvimento possa ser orientado para resoluções de gargalos.

A economia circular pode ser entendido de maneira mais abrangente do que somente reutilizar / reciclar /redesenhar produtos, pode ser entendido como transformar o modelo e Modus Operandi de como a economia funciona,

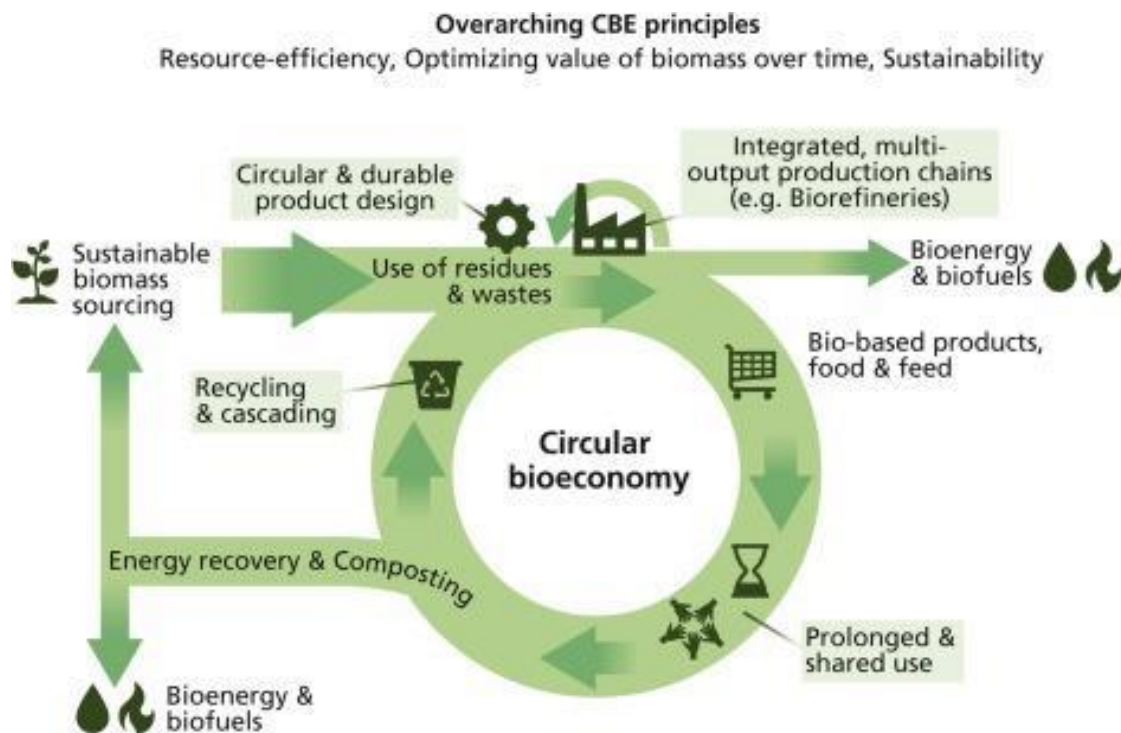
Na economia linear onde outrora o ciclo era fabricar, utilizar para finalmente descartar o produtor, agora economia circular passa a ser somente circular e regenerar. Porém nas oportunidades exige-se desafios a ser sintetizados tais como modelos de negócios, regulamentos, incentivos e novos modelos de financeiros.

3.5.3 Bioeconomia circular

Representando alternativa ao capitalismo linear bioeconomia circular, no conceito econômico que integrativo das sinergias (economia circular e da bioeconomia), focado na correta utilização de matérias-primas naturais em sistemas fechados.

Daí constitui-se a importância de estudos de novos modelos de produtivos para promover e aperfeiçoar a capacidade produtiva de forma mais limpa e sustentável (Maia et al., 2021), sendo um importante instrumento a ser implantado em Pd&i a bioeconomia tem sido norteadoras das ações de diversos países na necessidade de integração mais intensa de cooperação entre a comunidade científica, empresas privadas, governo e corpo social, no estabelecimento de políticas ambientais congruente (De Oliveira Faria & De Azevedo Caldeira Pires, 2020). Sendo assim, para (Stegmann et al., 2020) a bioeconomia circular dedica-se na valorização sustentável e eficiente dos recursos da biomassa em cadeias de produção integradas e de múltiplos resultados (por exemplo, biorrefinarias), ao mesmo tempo aproveitando os resíduos e otimizando o valor da biomassa ao longo do processo temporal por meio de cascata, vide Figura 7.

Figura 7: Economia circular e seus elementos.



Fonte: Stegmann et al. (2020).

3.5.4 Arranjos Produtivos Locais- APL

Os arranjos produtivos locais, também denominados de (Sistema produtivo local) ou também (Cluster), o Brasil a expressão mais difundida é arranjo produtivo local. (BRASIL, 2021). Segundo o Governo do Brasil (BRASIL, 2017), [...] os Arranjos Produtivos Locais (APLs) são aglomerações de empresas e empreendimentos, localizados em um mesmo território, que apresentam especialização produtiva, algum tipo de governança e mantêm vínculos de articulação, interação, cooperação e aprendizagem entre si e com outros atores locais, tais como: governo, associações empresariais, instituições de crédito, ensino e pesquisa.

Outra definição utilizada por Rede de Pesquisa em Arranjos e Sistemas Produtivos e Inovativos Locais – REDESIST, (Matos et al., 2017) é que [...] Arranjos produtivos locais são aglomerações territoriais de agentes econômicos, políticos e sociais – com foco em um conjunto específico de atividades econômicas – que apresentam vínculos mesmo que incipientes. Geralmente envolvem a participação e a interação de empresas – que podem ser desde produtoras de bens e serviços finais até fornecedoras de insumos e equipamentos, prestadoras de consultoria e serviços, comercializadoras, clientes, entre outros – e suas variadas formas de representação e associação. Incluem também diversas outras organizações públicas e privadas voltadas para: formação e capacitação de recursos humanos, como escolas técnicas e universidades; pesquisa, desenvolvimento e engenharia; política, promoção e financiamento [...].

A REDESIST disponibiliza on-line Rede de Pesquisa em Sistemas Produtivos e Inovativos Locais e segundo (Matos et al., 2017) é classificado os APLs vitais para o desenvolvimento nacional em, pelo menos, quatro categorias: 1. APLs competitivos internacionalmente e capazes de inovar, de capturar e acumular sinergias próprias. 2. APLs com massa crítica mínima e potencial para alcançar sinergias dinâmicas, porém afetados por algumas fragilidades. 3. APLs limítrofes, relativamente próximos de alcançar massa crítica, sendo, porém, incapazes de acumular eficiências coletivas com a força e a

persistência necessárias. 10 Prefácio 4. APLs precários, sem condições de acumular sinergias próprias, situados, em geral, em regiões deprimidas, de baixa renda ou submetidos a processos externos de extração desigual de valor.

O desenvolvimento regional a muito tempo é discutido pelos governantes, houve várias eras econômicas no Amazonas desde as explorações extrativistas das drogas do sertão, látex da borracha, distrito industrial, distrito agropecuário, zona franca de Manaus, agora estamos na 4º revolução industrial e esforços estão sendo feito para que geração de renda seja melhor distribuída.

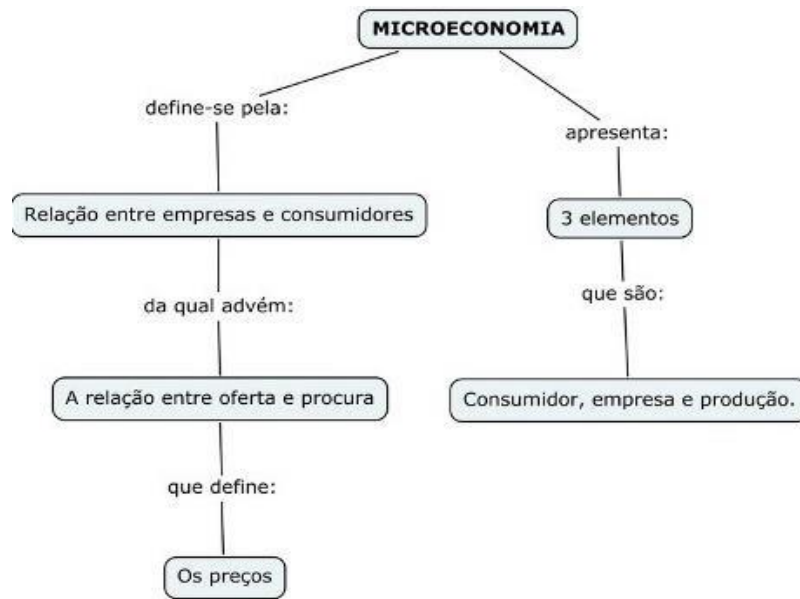
Vários esforços estruturados foram feitos no sentido fomentar nesse sentido (MCT, BASA, SEDEC, FUCAPI), sendo definidos a partir de estudos iniciais ao APLs e os setores de Fitoterápicos e Fitocosméticos, Fruticultura, Madeira-Móveis e Piscicultura, fomentando cadeias produtivas na Amazônia Ocidental e na Área de Livre Comércio de Macapá-Santana (ALCMS) (Santos, 2011).

por conseguinte, a academia de ciências pode contribuir no desenvolvimento de conhecimento para pesquisas e propostas de matrizes econômicas para mitigação de impactos ambientais e desenvolvimento econômico. As potencialidades naturais do Amazonas são necessários investimentos em infraestruturas e incentivos fiscais priorizando APL's estratégicas para o desenvolvimento do interior do estado : tais como: Fitoterápicos e fitocosméticos, Madeira, móveis e artefatos, Polpas, extratos e concentrados de frutas regionais Produção de pescado, Fécula e farinha de mandioca, Turismo ecológico e rural,- Artesanato regional,- Produtos florestais não madeireiros, Construção naval, Mineração. Listas atualizadas podem ser encontradas no site do Observatório brasileiro APL (FIEAM, 2022). Assim é necessário repensarmos investimentos em setores estratégicos para o Estado do Amazonas, procurando dinamizar a economia associando a Zona Franca a outros modelos de desenvolvimento econômico regional(Kamyle Medina Monte Rey, 2019).

3.5.5 Microeconomia

Enquanto a macroeconomia trata do estudo do comportamento global do sistema econômico refletido nos níveis de produção, níveis de emprego, níveis de preços e outros fatores intrínsecos ao setor, já a microeconomia desenvolve e implementa construções teóricas de modelos para análise e entendimento do comportamento das unidades econômicas ou agentes econômicos (famílias, empresas, consumidores, governos e outros) (Aguirre, 2020; Vial & Zurita, 2018), assim é necessário essa interação e coexistência desse âmbito para provisão de fundamentação para profundas inovações de gestão, governança e tecnologias (De La Cruz Cuadros & Papa Quiroz, 2014), o que é explicitado na Figura 8.

Figura 8: mapa explicativo das abordagens microeconômicas.



Fonte: (De La Cruz Cuadros & Papa Quiroz, 2014).

3.6 Potencial uso dos subprodutos na geração de tecnologias sustentáveis para abastecimento do mercado minerador para eliminação do mercúrio.

Os principais produtos da mandioca gerados para a cadeia industrial é a fécula de mandioca para abastecer grande parte das indústrias de: mineração, cosméticos, bebidas alcoólicas, remédios dentre outros (A. E. Burns et al., 2012). É importante citar que grande parte da produção de mandioca para abastecer esse mercado é oriunda de agricultores familiares dotados de tecnologias rústicas para síntese de produtos primários básicos (Siritunga & Sayre, 2004).

A forma tradicional de uso da mandioca é feita principalmente pela comunidade rural no local denominado ‘casa de farinha’ (Figura 9) onde os principais produtos extraídos para diversos fins mas principalmente alimentício são: Uso das folhas (Figura 10a) , Uso da manipueira (Figura 10b) e uso da raiz para produção de farinha (Figura 10c) , (DERAL, 2019)

Em 2017, havia 355.207 casas de farinha no Brasil e que em cada uma dela há de 5 a 10 pessoas portanto, podemos considerar que existe de 1,8 a 3,6 milhões de pessoas no Brasil envolvidas nessa atividade em casas de farinha. A renda média é de US\$ 200/mês/pessoa.

Os principais tipos de mandiocas usadas para produção de farinha nas “casas de farinhas” é a mandioca amarga (possuem acima de As lojas produzem farinha de mandioca amarga à ppm de cianeto em sua massa) pois tradicionalmente acreditam que é mais saboroso e que cresce rapidamente quando comparado a mandioca doce, numa das etapas da preparação da farinha é a trituração em que a mandioca é triturada e espremida obtendo-se 30-35% p/p de líquido (manipueira ou tucupi) que geralmente é descartado no ambiente , a massa os “farinheiros” usam fazer farinha aquecendo-a a 120 ° C.

Figura 9: Local de processamento da mandioca para produção de Farinha denominado “casa de farinha”, no Brasil.



Fonte: Autores.

Figura 10: a - Folhas de mandioca , b – Manipueira / tucupi , c – raiz de mandioca com o córtex e pele aparente.

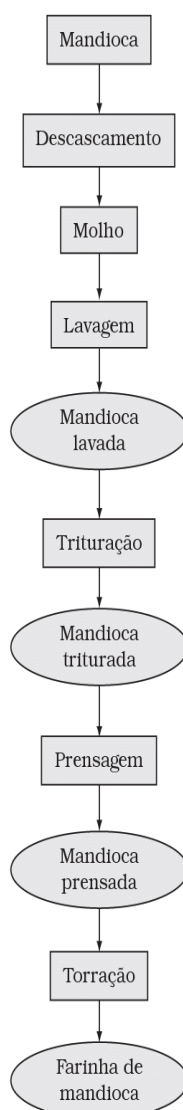


Fonte: Torkaman et al. (2021).

3.7 Etapas da produção de farinha

A farinha é produzida seguindo as seguintes etapas: As etapas da produção da farinha, principal produto extraído da raiz é a farinha, pode haver variações no processo, mas, geralmente segue as etapas do fluxograma da Figura 11 que são: colher a mandioca no campo, descascar, pôr de molho ao menos 24 horas (essa etapa pode ser ignorada e ir direto pra trituração) , lavar com água corrente, triturar, prensar para tirar o líquido e torrar a 120°, o produto resultante é a farinha de mandioca que pode ter diversas granulometrias. Quando no processo de produção de farinha não se põem a farinha de molho na água, pode-se triturar diretamente e depois espremer a massa da mandioca, o líquido que sai é a manipueira que é descartada no ambiente, por vezes uma pequena quantidade desta é vendida em forma de tucupi (manipueira que foi submetido a fervura e temperado com ervas e pimentas).

Figura 11: Ilustração da etapa do processo e fabricação de farinha típico da Amazônia.



Fonte: Chisté et al. (2007).

3.7.1 Potencialidades do uso da mandioca como tecnologia social

Além da subsistência social como fator gerador da manutenção das atividades produtivas quase que de modo arcaico como pouco incremento de tecnologia, o beneficiamento da mandioca apresenta-se como uma opção para o setor de agronegócio de pequena escala, visto que novos produtos podem ser gerados e que podem sintetizar produtos de alto valor tecnológico agregado para na indústria ou agronegócio. (Adriano, 2013) .

Outros produtos possíveis de agregação de valor na cadeia de produção da mandiocultura são:

- carvão ativado - da casca da raiz para ser utilizado para diversos fins industriais: filtros de máscaras de gás, para adsorção de metais nobres, corantes de roupas, usos em estações de tratamento de esgoto ou tratamento de água.
- Síntese de fenação - a partir das folhagens e caules para nutrição de animais visando suprir a demanda de ração, propiciando rápida desidratação para conservação dos valores nutritivos.
- Síntese e estabilização de Cn- para uso na mineração artesanal visando a eliminação de mercúrio na extração de ouro e outros minerais, estudos demonstra que a mineração em rios são feitos por dragas (balsas de grande porte de metal) podendo minerar 2.5 kg de ouro ao mês e, Balsa (balsas menores que as dragas sendo sua construção

em madeira) podendo minerar 400/500 g de ouro ao mês Stream 2020, a cada tonelada de mandioca moída e prensada pode-se extrair 300/350 litros de manipueira, podendo ser utilizado nesse contexto.

No estado do Amazonas produz-se anualmente (2020) cerca de 1.2 milhões de toneladas de mandioca, (Figura 5; Gráfico 6) (DERAL, 2019) 30% dessa massa é líquido (chamada manipueira) e a quantidade de cianeto livre pode variar de 300 a 900 ppm (111 a 334 toneladas), o valor comercial da tonelada de cianeto de sódio ou cianeto de potássio é de \$2,000, portanto a receita para o Estado do Amazonas com o implemento da transformação de manipueira em produtor comercial para fornecimento para setor mineral seria entre 223 a 991 milhões de dólar (Tabela 3), esses cálculos referem-se somente às raízes, mas esses resultados podem ser potencializados pois é possível aumentar o nível de cianeto na produção final, pois, pode-se extrair também cianeto das folhas e galhos que possuem maior concentração em relação as raízes.

Na Tabela 3, o autor faz uma projeção do resultado financeiro do potencial uso da manipueira com uso tecnológico.

Tabela 3: Quadro comparativo da produção potencial de cianeto no estado do AMAZONAS – BRASIL a partir da produção de mandioca.

Produtividade Bruta anual de mandioca	Geração de manipueira 30% a 40% (l)	Produção Cn- (300 – 900 ppm) (t)	Cn- (t) Valor de Mercado dólar	Resultado (milhões em dólar)
1.239.598 toneladas	371.879 – 495.839	111.6 – 334,7	2000	223 a 991

Fonte: O autor, projeção de receitas a partir do uso tecnológico da manipueira, utilizando dados de acordo com o mapa de produção de mandioca do DERAL (2019).

3.8 Ecotecnologia - Impactos esperados com a implantação da de cianeto de origem natural para fornecimento a mineração em substituição ao mercúrio

Ecotecnologia são objetos de estudos que visam implementar novas cadeias de valores em sistemas econômicos de modo a valorizar o desenvolvimento sustentável de uma micro região, isto é, todos os agentes envolvidos, de modo que haja equilíbrio no corpo social, economia e ambiente em que se estrutura os negócios econômicos. Os elementos trazidos aqui são: 1 - A agricultura familiar; 2- apoio institucional do estado e de ongs - em forma de (Assistência técnica, extensão rural e mais recentemente gerencial -ATERg, Associações, Cooperativas, Organizações não governamentais - ONG's e outros modelos de grupos organizados); 3- Os Arranjos Produtivos Locais (APLs).

- A agricultura familiar – que trata-se de um setor extremamente importante para o desenvolvimento Socioambiental e econômico de uma agricultura amazônica estruturada sobre três pilares: Segurança alimentar, bem estar da sociedade humana e conservação dos recursos ambientais. Souza et al. 2018. As particularidades territoriais do Brasil fazem com que cada região tenha peculiaridades em seu modo de produção agro econômica e isso traz impactos diretos na viabilidade econômica da agricultura regional. Então a partir desta perspectiva o enfoque na agricultura sustentável e diversificada como modelo produtor de alimentos, deve coexistir a contexto apropriados específicos de: logística; condições edafoclimáticos; acesso aos mercados; infraestrutura; acesso a crédito e assistência técnica.
- Nesse contexto instituições (Assistência técnica, extensão rural e mais recentemente gerencial -ATERg, Associações, Cooperativas, Organizações não governamentais - ONG's e outros modelos de grupos organizados) são importantes, pois, promovem soluções aos gargalos regionais (limites da viabilidade econômica e agrônômica) que determina, para além dos fatores de terra, capital e mão de obra, os resultados das atividades agrícolas regionais. Noda et al 2013.

- A rede abastecedora de agronegócio trata-se de um “Aspecto” da cadeia produtiva para transferência de tecnologia atuante no agronegócio regional, pois além de absorver as peculiaridades da agricultura regional, busca entender os atores da dinâmica envolvido no mercado e integra-lo ao conceito (4.0), este se refere a técnicas inovadoras e integrada aos conceito de economia circular e desenvolvimento sustentável, atuando na Implantação de unidades de referências tecnológicas.
- Os Arranjos Produtivos Locais (APLs) e outras estratégias para o desenvolvimento sustentável, APL, genericamente, é a aglomeração territorial de Agentes Econômicos, Políticos e Sociais, focando um conjunto específico de Unidades Econômicas (agropecuárias, florestais, industriais e serviços), que apresentam articulações mesmo que incipientes.

A fim de facilitar o fortalecimento às atividades de agribusiness face aos direitos constitucionais: direito de propriedade (segurança jurídica) em esferas (estadual, nacional, internacional) convênios, financiamentos, empréstimos é o primeiro passo para conservação dos recursos naturais e produção rural sustentável, o estudo e entendimento desses elos da cadeia produtiva, pode vir a alavancar um polo de bioeconomia regional.

A implementação de novas perspectivas tecnológicas parte do pressuposto de intensa interação dos diversos elementos das camadas sociais (universidade, governo, iniciativa privada etc.) sendo que os resultados esperados de uma possível implantação dessas tecnologias ao processo produtivo são:

- Instalação de infraestrutura de apoio (a implantação de unidades de referências tecnológicas & economia circular)
- acompanhamento técnico (para agricultores familiares locais) na Cadeia logística de produção e abastecimento do mercado metropolitano, fortalecendo a microeconomia da produção familiar sustentável,
- fixação de jovens na terra e gerando renda e Instalação da Economia circular
- Redução da perda e desperdício de alimentos na Cadeia logística de produção e abastecimento incluindo otimização e dimensionamento de processos, bancos de dados de alimentos e valorização de subprodutos;

Avaliação do ciclo de vida e tecnologia de alimentos, incluindo novas áreas como Ciência ambiental; ciência automação, sistemas de inovação de alimentos, microbiologia, biologia molecular; nutrição; melhoramento de plantas / genética; patologia das plantas; fisiologia pós-colheita; Ciência do Solo; e ciência de ervas daninhas.

3.9 Proposta de modelo econômico alternativo para desenvolvimento sustentável de polos microeconômicos em (Bioeconomia circular) na Amazônia (Figura 12)

De forma sistematizada em forma de fluxograma é apresentado uma proposta de modelo econômico alternativo de uma rede abastecedora de negócios é apresentado em três níveis (step 1, step 2 e step 3).

O step 1 resumidamente fornece ao sistema (step 2 e step 3) recursos financeiros e também rede de parceiros fomentadores públicos e privados.

O step 2, constitui o laboratório de ideias, estudos e pesquisas tecnológicas que serão os transferidores de tecnologias ao (step 3 – ambiente de microeconomia regional).

O step 3 – ambiente de microeconomia regional), é composto pela assistência técnica e gerencial – elo entre o laboratório de geração de estudos na etapa 2 e os agentes propriamente dito dos setores geradores de matéria primas do setor primário, detalhado na Tabela 4 – principais setores do agronegócio representado por pelas letras (A, B, C, D, E). em resumo teremos os seguintes resultados:

Step 1 provedor de fomentos e recursos financeiros (parceiros estratégicos)

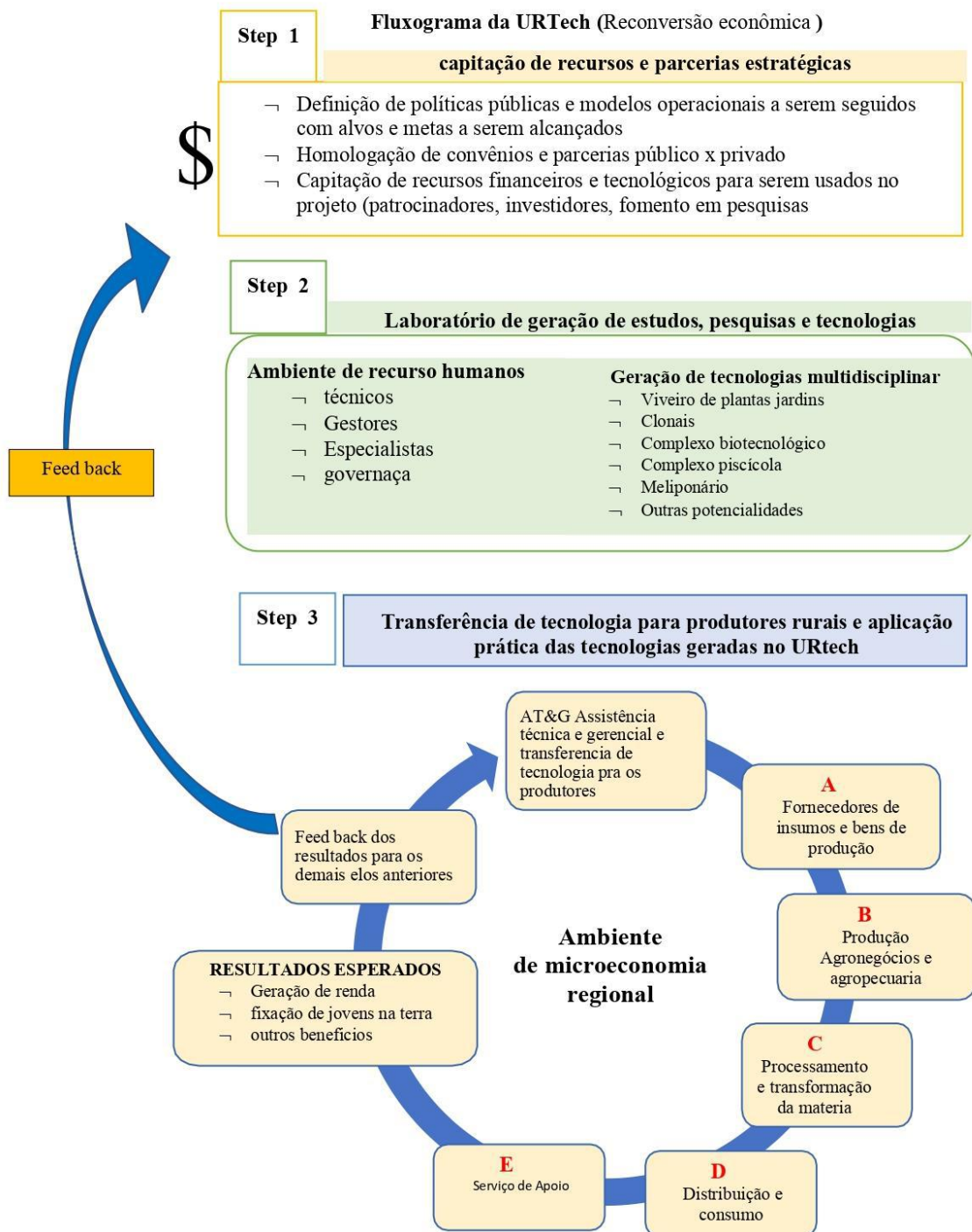
Step 2 Laboratório de estudos, pesquisas e tecnologias

Step 3 transferência de tecnologias para o setor de produção primária (URtech)

- AT&G
- A - Suppliers of inputs and production goods
- B - Agricultural production
- C - Processing and transformation
- D - Distribution and consumption
- E - support services
- RESULTADOS
- FEDD BACK

De forma sinérgica a Figura 12 une os valores conceituais da (Bioeconomia; Economia circular; Arranjo produtivos locais; Bioeconomia circular; Microeconomia), o efeito prático dessa combinação é a interação dos processos e teorias econômicas que ocorre em cada uma das etapas de geração de processos, produtos e valores, e geração de novos valores e serviços na microeconomia regional.

Figura 12: Proposta de modelo econômico alternativo para desenvolvimento sustentável de polos microeconômicos em (bioeconomia circular) na Amazônia.



Fonte: Autores.

Tabela 4 - Os principais setores do agronegócio.

A	B	C	D	E
Fornecedores de insumos e bens de produção	Produção agropecuária	Processamento e transformação	Distribuição e consumo	Serviços de apoio
Sementes	Produção animal	Alimentos	Restaurantes	Agrônomicos
Calcário	Lavouras permanentes	Têxteis	Hotéis	Veterinários
Fertilizantes	Lavouras temporárias	Vestuários	Bares	Pesquisas
Rações	Horticultura	Calçados	Padarias	Bancários
Defensivos	Silvicultura	Madeira	Feiras	Marketing
Produtos veterinários	Floricultura	Etanol	Supermercados	Vendas
Combustíveis	Extração vegetal	Papel e papelão	Comércio	Transportes
Tratores	Indústria rural	Fumo	Exportação	Portos
Colheitadeiras		Óleos essenciais		Bolsas
Implementos				Seguros
Maquinas				
Motores				

Fonte: Judas et al. (2007).

4. Considerações finais

É possível encontrar de forma abundante produtos cianogênicos em (caule, folhas e raízes) de mandioca – planta comestível da Amazônia, e gerar de 111 a 334 mil toneladas de CN-, o descarte inadequado desse produto pode levar a uma série de problemas ambientais, mas que com o estudo e pesquisas tecnológicas apresenta-se como solução para erradicação do mercúrio na mineração artesanal. Compreender e estabelecer os métodos apropriados de estabilização do CN- ajudará a implementar nova tecnologia no setor mineral e ao mesmo tempo em reduzir problemas de contaminação por mercúrio, propositalmente será necessário reorganizar o setor microeconômico produtor de mandioca na Amazônia (A agricultura familiar) com a ajudar e apoio institucional do Estado e de ongs - em forma de (Assistência técnica, extensão rural e mais recentemente gerencial -ATERg) para que os Arranjos Produtivos Locais (APLs) permitir completa interação dos fatores produtivos da economia (terra, mão de trabalho e capital).

É necessário estudos para avaliação para aproveitamento de subprodutos de mandioca que podem ter altíssimo valor agregado e que atualmente estão sendo descartados como rejeitos.

- Há subprodutos que podem entrar na cadeia produtiva da mandioca: carvão ativado, manipueira para síntese de cianeto de origem natural, folhagem para produção de fenagem, amido para fornecimento a indústria.
- A síntese de cianeto de origem natural pode trazer anualmente o aporte de \$223 a \$991 milhões de dólares à micro economia das comunidades produtoras de mandiocas.
- O cianeto de origem natural pode contribuir para erradicação de uso de mercúrio nos garimpos evitando assim a contaminação do meio ambiente.
- A fim de facilitar o fortalecimento às atividades de agribusiness, nesse contexto instituições (Assistência técnica, extensão rural e gerencial - ATERg, Associações, Cooperativas, Organizações não governamentais - ONG's e outros modelos de grupos organizados) são importantes, para promoverem soluções aos gargalos regionais (limites da viabilidade econômica e agrônômica).
- Novos modelos econômicos para a região amazônica devem ser considerados nas formulações de políticas públicas, novos modelos de gestão e governança e os Arranjos Produtivos Locais (APLs) apresentam-se como uma opção para o setor de agronegócio da mandioca, que podem sintetizar produtos de alto valor tecnológico agregado na indústria ou agronegócio da mandiocultura.

As próximas etapas deste trabalho é buscar e caracterizar variedade (genótipos) de mandioca de alto teor de cianeto e iniciar os estudos para estabilização da volatilização de cianeto livre.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo.

Ao Projeto Posgrad 2021 da FAPEAM (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas).

Referências

- ABAM. (2021). *Pará teve safra recorde de mandioca em 2021*. <https://abam.com.br/para-teve-safra-recorde-de-mandioca-em-2021/>
- Adriano, B. (2013). ESTUDO SOBRE A CADEIA PRODUTIVA DA MANDIOCA. *Revistaea.Org*. <https://revistaea.org/pf.php?idartigo=3096>
- Aguirre, J. C. (2020). Microeconomía I. *Consorcio de Investigación Económica y Social; OSITRAN, 1*.
- Alexander Essers, A. J. (1994). FURTHER IMPROVING THE ENZYMIC ASSAY FOR CYANOGENS IN CASSAVA PRODUCTS. *Acta Horticulturae*. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1994.375.7>
- Aliprandini, P., Veiga, M. M., Marshall, B. G., Scarazzato, T., & Espinosa, D. C. R. (2020). Investigation of mercury cyanide adsorption from synthetic wastewater aqueous solution on granular activated carbon. *Journal of Water Process Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101154>
- Baena, Ó. J. R., & Mendoza, L. E. M. (2021). Sustainability of the artisanal and small-scale gold mining in northeast antioquia-colombia. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/su13169345>
- Baltz, R. H. (2017). Gifted microbes for genome mining and natural product discovery. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s10295-016-1815-x>
- Bansah, K. J., Yalley, A. B., & Dumakor-Dupey, N. (2016). The hazardous nature of small scale underground mining in Ghana. In *Journal of Sustainable Mining*. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2016.04.004>
- Barney, K. (2018a). Reassembling informal gold-mining for development and sustainability? In *Between the Plough and the Pick*.
- Barney, K. (2018b). Reassembling informal gold-mining for development and sustainability? Opportunities and limits to formalisation in India, Indonesia and Laos. In *Between the Plough and the Pick: Informal, artisanal and small-scale mining in the contemporary world*. <https://doi.org/10.22459/bpp.03.2018.16>
- Bialek M., Bialek A., Czauderna M., Tsoutsos, D., Kakagia, D., Tamparopoulos, K., Mazzulla, S., Anile, D., Sio, S. De, Scaglione, A., Seta, M. De, Anile, A., Wang, D. H., Wang, Z. Z. X. Z. Z. Z., Le, K. P., Cortright, J. R., Park, H. G., Tobias, H. J., Brenna, J. T. T., & Mikulska, M. (2016). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Meat Science*. <https://doi.org/10.1139/y05-149>
- Bolarinwa, I. F., Oke, M. O., Olaniyan, S. A., & Ajala, A. S. (2016). A Review of Cyanogenic Glycosides in Edible Plants. In *Toxicology - New Aspects to This Scientific Conundrum*. InTech. <https://doi.org/10.5772/64886>
- Brabo, R. N. (2007). O Trio da Produtividade na mandioca. *Embrapa Amazônia Oriental*, 16. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/28082/1/Doc284.pdf>
- BRASIL. (2017). *Conceito de Arranjo Produtivo Local - APL*.
- BRASIL. (2021). *Conceito de Arranjo Produtivo Local - APL*. <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/arranjos-produtivos-locais-apl>
- British Standards Institute. (2017). BS 8001-2017 Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide. *BSI Standards Limited*.
- BSI. (2017). *Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations-guide* (B. Standards (ed.)). BSI.
- Burns, A. E., Gleadow, R. M., Zacarias, A. M., Cuambe, C. E., Miller, R. E., & Cavagnaro, T. R. (2012). Variations in the Chemical Composition of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Leaves and Roots As Affected by Genotypic and Environmental Variation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(19), 4946–4956. <https://doi.org/10.1021/jf2047288>,
- Burns, A., Gleadow, R., Cliff, J., Zacarias, A., & Cavagnaro, T. (2010). Cassava: The Drought, War and Famine Crop in a Changing World. *Sustainability*, 2(11), 3572–3607. <https://doi.org/10.3390/su2113572>
- Carvalho, A. P. de. (2015). Objetivos do desenvolvimento sustentável. *GV-Executivo*, 14(2). <https://doi.org/10.12660/gvexec.v14n2.2015.56854>
- Chisté, R. C., Cohen, K. de O., Mathias, E. de A., & Ramoa Júnior, A. G. A. (2007). Estudo das propriedades físico-químicas e microbiológicas no processamento da farinha de mandioca do grupo d'água. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27(2), 265–269. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000200009>
- Cleary, D., & Cleary, D. (1990). Serra Pelada: The Gold Rush on the National Stage. In *Anatomy of the Amazon Gold Rush*. https://doi.org/10.1007/978-1-349-11247-0_7
- Clifford, M. J. (2014). Future strategies for tackling mercury pollution in the artisanal gold mining sector: Making the Minamata Convention work. *Futures*. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2014.05.001>
- CNI. (2020). *Bioeconomia e a indústria brasileira*. https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/cd/ed/cded4159-a4c5-474d-9182-dd901b317e1c/bioeconomia_e_a_industria_brasileira.pdf

- CROPLIFEBRASIL. (2022). *Conceitos Bioeconomia, empregando soluções disruptivas para uma sociedade sustentável*. <https://croplifebrasil.org/conceitos/bioeconomia-empregando-solucoes-disruptivas-para-uma-sociedade-sustentavel/>
- De La Cruz Cuadros, L. H., & Papa Quiroz, E. A. (2014). MÉTODO DEL PUNTO PROXIMAL y SUS APLICACIÓN A MODELOS ECONÓMICOS. *Pesquimat*, 15(1). <https://doi.org/10.15381/pes.v15i1.9605>
- De Oliveira Faria, E., & De Azevedo Caldeira Pires, A. (2020). Economia circular e bioeconomia: um novo caminho para a sustentabilidade? *Sinergia - Revista Do Instituto de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis*, 25(1). <https://doi.org/10.17648/2236-7608-v25n1-11530>
- DERAL. (2019). *No Title*. https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2019-12/Mandioca_2020.pdf
- Embrapa. (2022). *Bioeconomia: a ciência do futuro no presente*. <https://www.embrapa.br/tema-bioeconomia/sobre-o-tema>
- EMBRAPA. (n.d.). *Bioeconomia*. <https://www.embrapa.br/tema-bioeconomia>
- EMBRAPA. (2003). *No Title*. 13(Sistemas de Produção, 13 ISSN 1678-8796 Versão eletrônica Jan/2003). [https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_para_importancia.htm#:~:text=A mandioca é cultivada em,áreas pobres da Região Nordeste.](https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_para_importancia.htm#:~:text=A%20mandioca%20%C3%A9%20cultivada%20em%20%C3%A1reas%20pobres%20da%20Regi%C3%A3o%20Nordeste.)
- EMBRAPA. (2017). *500 Perguntas, 500 respostas*. <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/mandioca>
- FAO. (2022). *Top 10 Country Production of Cassava 2020*. https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity
- FIEAM. (2022). *A Zona Franca de Manaus e o IPI*. <http://www.fieam.org.br/fieam/2022/03/15/a-zona-franca-de-manaus-e-o-ipi/>
- Garcia, O., & Molina, J. (2011). Introducción de tecnologías más limpias en la minería y la extracción del oro artesanales, en el nordeste antioqueño y bajo cauca antioqueño, Colombia. *Técnicas Aplicadas a La Caracterización y Aprovechamiento de Recursos Geológico-Mineros*.
- García, O., Veiga, M. M., Cordy, P., Suescún, O. E., Molina, J. M., & Roeser, M. (2015). Artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: A successful case of mercury reduction. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.032>
- Godoy, A. S. (1995). Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. *RAE-Revista de Administração de Empresas*, 35(3 SE-RAE-Artigos), 20–29. <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rae/article/view/38200>
- Guimarães, D. L. F., Silva, R. N. da, Andrade, H. M. L. da S., & Andrade, L. P. de. (2022). Cadeia produtiva da mandioca no território brasileiro inovações e tecnologias uma revisão sistemática da literatura: uma revisão sistemática da literatura. *Diversitas Journal*, 7(1), 0017–0025. <https://doi.org/10.48017/dj.v7i1.2009>
- Hentschel, T., Hruschka, F., & Priester, M. (2002). Global report on artisanal and small-scale mining. In *Mining, Minerals and Sustainable Development*.
- Hernández-Allica, J., Becerril, J. M., Zárate, O., & Garbisu, C. (2006). Assessment of the efficiency of a metal phytoextraction process with biological indicators of soil health. *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-4081-7>
- Hilson, G., McQuilken, J., & Hilson, A. (2016). Ethical minerals: Fairer trade for whom? *Resources Policy*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.05.002>
- Hilson, G., & Monhemius, A. J. (2006). Alternatives to cyanide in the gold mining industry: what prospects for the future? *Journal of Cleaner Production*, 14(12–13), 1158–1167. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.005>
- Holley, E. A., Smith, N. M., Delgado Jimenez, J. A., Cabezas, I. C., & Restrepo-Baena, O. J. (2020). Socio-technical context of the interactions between large-scale and small-scale mining in Marmato, Colombia. *Resources Policy*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101696>
- IBGE. (2020). *Produção Agrícola - Lavoura Temporária*. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10334?localidade1=13&localidade2=15>
- Jaszczak, E., Polkowska, Ż., Narkowicz, S., & Namieśnik, J. (2017). Cyanides in the environment—analysis—problems and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9081-7>
- Jørgensen, K., Bak, S., Busk, P. K., Sørensen, C., Olsen, C. E., Puonti-Kaerlas, J., & Møller, B. L. (2005). Cassava Plants with a Depleted Cyanogenic Glucoside Content in Leaves and Tubers. Distribution of Cyanogenic Glucosides, Their Site of Synthesis and Transport, and Blockage of the Biosynthesis by RNA Interference Technology. *Plant Physiology*, 139(1), 363–374. <https://doi.org/10.1104/pp.105.065904>
- Judas Tadeu Grassi Mendes, J. B. P. J. (2007). *Agronegócio: uma abordagem econômica*. São Paulo: Pearso Prentice Hall.
- Kamyle Medina Monte Rey. (2019). *ZONA FRANCA DE MANAUS: ANÁLISE DOS 50 ANOS DE ATUAÇÃO ESTATAL NO ÂMBITO DA SUFRAMA EM BUSCA DA PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA*.
- Logsdon, M., Hagelstein, K., & Mudder, T. (1999). *The Management of Cyanide in Gold Extraction*. *International Council on Metals and the Environment (ICME)*. International Council on Mining and Metals (ICMM).
- Maia, V. dos S. F., Shibata, A. E., & Romão, E. M. (2021). Revisão dos novos modelos de produção: Economia Circular, Bioeconomia e Biosociedade. *Research, Society and Development*, 10(9). <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18539>
- Marshall, B. G., & Veiga, M. M. (2017). Formalization of artisanal miners: Stop the train, we need to get off! In *Extractive Industries and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2017.02.004>
- Matos, M., Cassiolato, J., Lastres, H., Lemos, C., & Szapiro, M. (2017). *Arranjos produtivos locais: referencial, experiências e políticas em 20 anos da Redesist*.

- Møller, B. L. (2010). Functional diversifications of cyanogenic glucosides. *Current Opinion in Plant Biology*, 13(3), 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2010.01.009>
- ONU. (2022). *FAO*. https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity
- ONU, P. (2018). Transformando Nosso Mundo. *AmbientALMENTEsustentable*, 25(1), 171–190. <https://doi.org/10.17979/ams.2018.25.1.4655>
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*.
- Piquet, R., Rangel, H. C., & De Castro, R. (2020). Fluxos transnacionais e espaços em reconversão econômica: análise do caso do município de São João da Barra, RJ. *Geo UERJ*, 36. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2020.48416>
- Salas-Banueta, G., Restrepo Baena, O. J., Cockrell, B. R., Ramírez-Vieyra, J., & Noguez-Amaya, M. E. (2012). La química y la ciencia e ingeniería de los materiales. *DYNA (Colombia)*, 79(175 E).
- Santos, M. R. dos. (2011). *Arranjos produtivos locais e biodiversidade na Amazônia: perspectivas do APL de Fitoterápicos e Fitocosméticos e resultados das iniciativas de apoio nos municípios de Manaquiri e Barreirinha - AM* [Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.8.2011.tde-08052012-121134>
- Seccatore, J., & de Theije, M. (2017). Socio-technical study of small-scale gold mining in Suriname. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.119>
- Seccatore, J., Veiga, M., Origliasso, C., Marin, T., & De Tomi, G. (2014). An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.003>
- SEDAP. (2022). *Valor bruto de produção do estado do Pará 2022*. http://www.sedap.pa.gov.br/sites/default/files/Boletim_01_-_VALOR_BRUTO_DA_PRODUCÃO_-_Brasil_e_estado_do_Pará_-_Janeiro-2022_%281%29_1.pdf
- SGS. (2018). *No Title*. <https://www.sgs.com.br/pt-br/mining/metallurgy-and-process-design/cyanidation-technologies/cyanide-leaching>
- Siegel, S., & Veiga, M. M. (2009). Artisanal and small-scale mining as an extralegal economy: De Soto and the redefinition of “formalization.” *Resources Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2008.02.001>
- Siritunga, D., & Sayre, R. (2004). Engineering cyanogen synthesis and turnover in cassava (*Manihot esculenta*). *Plant Molecular Biology*. <https://doi.org/10.1007/s11103-004-3415-9>
- Smith, N., Lucena, J., Smith, J., Restrepo Baena, O. J., Aristizabal, G., & Delgado, A. (2018). Social Dimension of the Successful Development of Mining Projects – a Focus on Artisanal and Small-Scale Mining. *International Journal of Georesources and Environment*. <https://doi.org/10.15273/ijge.2018.03.017>
- Solomonson, L. P. (1981). Cyanide as a metabolic inhibitor. *Cyanide in Biology/Edited by B. Vennesland...[et Al.]*.
- Stegmann, P., Londo, M., & Junginger, M. (2020). The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. *Resources, Conservation & Recycling: X*, 6, 100029. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2019.100029>
- Telmer, K. H., & Veiga, M. M. (2009). World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining. In *Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere: Emissions, Measurements and Models*. https://doi.org/10.1007/978-0-387-93958-2_6
- Torkaman, P., Veiga, M. M., de Andrade Lima, L. R. P., Oliveira, L. A., Motta, J. S., Jesus, J. L., & Lavkulich, L. M. (2021). Leaching gold with cassava: An option to eliminate mercury use in artisanal gold mining. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127531>
- UNEP. (2020). *Artisanal and small-scale gold mining. global mercury partnership*. <https://web.unep.org/globalmercurypartnership/our-work/artisanal-and-small-scale-gold-mining-asgm>
- Veiga, M. M. da, Silva, A. R. B., & Hinton, J. J. (2002). O garimpo de ouro na Amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. *Extração de Ouro: Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente*.
- Veiga, M. M., Angeloci-Santos, G., & Meech, J. A. (2014). Review of barriers to reduce mercury use in artisanal gold mining. In *Extractive Industries and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.03.004>
- Veiga, M. M., & Fadina, O. (2020). A review of the failed attempts to curb mercury use at artisanal gold mines and a proposed solution. In *Extractive Industries and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.06.023>
- Vial, B., & Zurita, F. (2018). Microeconomía. In *Microeconomía*. <https://doi.org/10.2307/j.ctt2111g56>
- Vieira, R. (2006). Mercury-free gold mining technologies: Possibilities for adoption in the Guianas. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.007>