

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: POLÍTICAS PÚBLICAS E SUSTENTABILIDADE

**MODELAGEM ENERGÉTICA PARA A AMAZÔNIA OCIDENTAL E ESTUDO
DE CASO NA VILA INDÍGENA DE CABARI NO MUNICÍPIO DE SÃO
GABRIEL DA CACHOEIRA**

Sandra Milena Vélez Echeverry

Orientador: Prof. Dr. Antônio Cesar Pinho Brasil Junior

Tese de Doutorado

Brasília - DF, Novembro de 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese e emprestar ou vender tais cópias para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Sandra Milena Vélez Echeverry

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: POLÍTICAS PÚBLICAS E SUSTENTABILIDADE

**MODELAGEM ENERGÉTICA PARA A AMAZÔNIA OCIDENTAL E ESTUDO
DE CASO NA VILA INDÍGENA DE CABARI NO MUNICÍPIO DE SÃO
GABRIEL DA CACHOEIRA**

Sandra Milena Vélez Echeverry

Tese de doutorado submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de doutor em desenvolvimento sustentável, área de concentração Política e Gestão Ambiental.

Aprovada por:

Antônio Cesar Pinho Brasil Junior, Dr. (UnB/CDS)
(Orientador)

Doris Aleida Villamizar Sayago, Dra. (UnB/CDS)
(Examinador interno)

Rudi Henri van Els, Dr. (UnB/FGA)
(Examinador interno)

André Luiz Amarante Amesquita Dr. (UFPA)
(Examinador externo)

Tálita Floriano dos Santos Dra. (UFPI)
(Examinador externo)

Brasília - DF, Novembro de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço muito a Deus por me permitir terminar essa fase da minha vida, por conceder-me força e determinação. À minha família pelo apoio constante e amor incondicional em todos meus projetos. Aos meus amigos e principalmente a Adriana Marques pela sua dedicação e apoio incondicional. Ao meu orientador o Dr. Prof. Brasil pela orientação, confiança e apoio. Aos professores Dr. Rudi Henri van Els, Dra. Josiane do Socorro Aguiar de Souza e Dra. Doris Aleida Villamizar Sayago pela sua guia, apoio e contribuição no desenvolvimento da minha tese, também agradeço muito as conversas e apoio pessoal.

Agradeço a todas as pessoas que participaram do meu percurso no CDS professores, o secretário do CDS por sua ajuda, no LEA aos meus colegas, e especialmente à Denise Valadão por toda sua valiosa ajuda.

Agradeço o apoio financeiro da CAPES mediante a bolsa de doutorado durante esses anos em Brasília, à FAPDF por sua ajuda de custos para participação em eventos e ao Instituto Socioambiental ISA por permitir-me fazer a pesquisa em campo mediante transporte, hospedagem e alimentação.

RESUMO

A Amazônia Ocidental Brasileira é uma região composta por quatro estados: Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima. A região é objeto de dois interesses, a produção do agronegócio e a grande área de floresta amazônica para conservação. Estão presentes nessa região comunidades indígenas, quilombolas, ribeirinhos, extrativistas e assentados. A população, além de não estar incluída no sistema interligado nacional, está subordinada a políticas que obedecem a interesses governamentais de cunho econômico e predatório que não permitem que elas tenham acesso à quantidade de energia necessária com as tecnologias adequadas ao seu território para alcançar bons indicadores de desenvolvimento sustentável. Neste contexto o objetivo desta pesquisa foi estimar a modelagem energética para comunidades rurais da Amazônia Ocidental e estudo de caso na vila indígena de Cabari no município de São Gabriel da Cachoeira com o intuito de produzir dados capazes de fornecer informações para ações dos gestores e da sociedade civil. A metodologia utilizada foi qualitativa e quantitativa, dividida em cinco etapas assim descritas: levantamento de dados primários e secundários, determinação e caracterização da área de estudo, determinação do perfil dos consumidores, determinação da demanda, modelagem energética e avaliação do impacto ambiental da instalação de uma turbina hidrocinética em um trecho do rio Negro no município de São Gabriel da Cachoeira. Para o levantamento de informação foi realizada uma visita de campo de 10 dias no mês de abril de 2018 a São Gabriel para determinar o potencial hidrocinético do rio e conhecer a vila indígena de Cabari. Na visita de campo houve o contato com a comunidade indígena, exército, prefeitura e gestores da usina termelétrica da cidade. Os métodos usados para obtenção, processamento e análise da informação foram a observação direta, os softwares ArcGis e Qgis, a matriz de Leopold e o software OSeMOSYS. A modelagem com a criação de dois cenários preditivos mostrou que é necessário desenhar e implementar sistemas híbridos de média escala que integrem várias comunidades mediante a geração, transmissão e distribuição de energia usando fontes renováveis. As tecnologias com maior capacidade produtiva foram em ordem decrescente a fotovoltaica, hídrica e biomassa com elevada e crescente demanda dos três tipos de uso. Os impactos ambientais da instalação da turbina hidrocinética na vila de Cabari foram considerados pequenos, locais (mesma bacia hidrográfica) e reversíveis. Já o potencial hidrocinético no trecho do rio nas seis vilas indígenas foi superior a 0,77 kW em São Luís, Cabari, Ilha das Flores e São Sebastião. Os gestores devem considerar que a energia é essencial para o desenvolvimento humano e um ponto crucial para tratar grande parte dos desafios globais urgentes do presente século e do futuro. O uso de combustíveis sólidos e fósseis (lenha, carvão e petróleo), por comunidades sem acesso à energia limpa, causa inúmeras doenças e poluição ambiental, produzindo altos custos sociais e ambientais com impactos adversos em escala local, regional, nacional e internacional.

Palavras-chave: comunidades tradicionais; OSeMOSYS; cenários; planejamento energético; impactos ambientais.

ABSTRACT

The Western Brazilian Amazon is a region made up of four states: Acre, Amazonas, Rondônia and Roraima. The region is the object of two interests, the production of agribusiness and the large area of amazon forest for conservation. Indigenous communities, afro descendants, riverside dwellers, extractivists and settlers are present in this region. The population, in addition to not being included in the national interconnected system, is subject to policies that comply with government interests of an economic and predatory nature that do not allow them to have access to the amount of energy necessary with the appropriate technologies for their territory to achieve good indicators of sustainable development. In this context, the objective of this research was to estimate the energy modeling for rural communities in the Western Amazon and a case study in the indigenous village of Cabari in the municipality of São Gabriel da Cachoeira in order to produce data capable of providing information for the actions of managers and society civil. The methodology used was qualitative and quantitative, divided into five steps described as follows: survey of primary and secondary data, determination and characterization of the study area, determination of the profile of consumers, determination of demand, energy modeling and assessment of the environmental impact of the installation of a hydrokinetic turbine in a stretch of the Black River in the municipality of São Gabriel da Cachoeira. For information gathering, a 10-day field visit was carried out in April 2018 to São Gabriel to determine the hydrokinetic potential of the river and visit the indigenous village of Cabari. During the field visit, contact was made with the indigenous community, army, city hall and managers of the city's thermoelectric power plant. The methods used to obtain, process and analyze information were direct observation, ArcGis and Qgis software, Leopold's matrix and OSeMOSYS software. Modeling with the creation of two predictive scenarios showed that it is necessary to design and implement medium-scale hybrid systems that integrate various communities through the generation, transmission and distribution of energy using renewable sources. The technologies with the highest production capacity were, in descending order, photovoltaic, water and biomass, with high and growing demand for the three types of use. The environmental impacts of the installation of the hydrokinetic turbine in the village of Cabari were considered small, local (same watershed) and reversible. The hydrokinetic potential in the river stretch in the six indigenous villages was greater than 0.77 kW in São Luís, Cabari, Ilha das Flores and São Sebastião. Essential for human development and a crucial point to address many of the pressing global challenges of the present century and the future. The use of solid and fossil fuels (firewood, coal and oil) by communities without access to clean energy causes countless diseases and environmental pollution, producing high social and environmental costs with adverse impacts on a local, regional, national and international scale.

Keywords: traditional communities; OSeMOSYS; scenarios; energy planning; environmental impacts.

RESUMEN

La Amazonia Occidental brasileña es una región conformada por cuatro departamentos: Acre, Amazonas, Rondonia y Roraima. La región es foco de dos intereses, la producción del agronegocio y una gran área de bosque amazónico para conservación. Están presentes en la región comunidades indígenas, afrodescendientes, ribereños, extractivistas y asentados. La población, además de no estar incluida en el sistema interconectado nacional, subordinada a intereses gubernamentales de carácter económico y predatorio que no permiten que ellas tengan el acceso a la cantidad de energía necesaria y con las tecnologías adecuadas a su territorio para alcanzar buenos indicadores de desarrollo sustentable. En este contexto el objetivo de esta investigación fue estimar el modelo energético para comunidades rurales de la Amazonia Occidental y estudio de la villa indígena de Cabari en el municipio de San Gabriel de la Cachoeira con la intención de producir datos con informaciones para las acciones de los gestores y de la sociedad civil. La metodología utilizada fue cualitativa y cuantitativa, dividida en cinco etapas así: levantamiento de datos primarios y secundarios, determinación y caracterización del área de estudio, determinación del perfil de consumo, determinación de la demanda, modelamiento energético y evaluación del impacto ambiental de la instalación de una turbina hidrocinética en un trecho del río Negro en San Gabriel. Para el levantamiento de información fue realizada una visita de campo de 10 días en el mes de abril de 2018 a San Gabriel para determinar el potencial hidrocinético del río y conocer la villa indígena de Cabari. En la visita hubo contacto con la comunidad, el ejército, la alcaldía y gestores de la usina termoeléctrica de la ciudad. Los métodos usados para la consecución, procesamiento y análisis de la información fueron la observación directa, los softwares ArcGis y Qgis, la matriz de Leopold y el software OSeMOSYS. El modelamiento energético con la creación de dos escenarios predictivos mostro que es necesario diseñar e implementar sistemas híbridos de media escala que integren varias comunidades mediante la generación, transmisión y distribución de energía usando fuentes renovables. Las tecnologías con mayor capacidad productiva fueron en orden decreciente la fotovoltaica, hídrica y biomasa con elevada y creciente demanda de los tres tipos de uso. Los impactos ambientales de la instalación de una turbina hidrocinética en la villa de Cabari fueron considerados pequeños, locales y reversibles (misma cuenca hidrográfica). Ya el potencial hidrocinético en el trecho del río en las seis villas indígenas analizadas fue superior a 0,77 kW en San Luis, Cabari, Isla de las Flores y San Sebastián. Los gestores deben considerar que la energía es esencial para el desarrollo humano y un punto crucial para tratar grande parte de los desafíos globales urgentes del presente y del futuro. El uso de combustibles sólidos y fósiles (leña, carbón y petróleo), por comunidades sin acceso a energía limpia, causa innúmeras enfermedades y polución ambiental, produciendo altos costos sociales y ambientales, con impactos adversos en escala local, regional, nacional e internacional.

Palabra clave: comunidades tradicionales; OSeMOSYS; escenarios; planeación energética; impactos ambientales.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. PEIXES DO RIO NEGRO	46
QUADRO 2. ATRIBUTOS POR <i>TIER</i> (ESTRATO) DE ENERGIA PARA USO RESIDENCIAL.....	55
QUADRO 3. ATRIBUTOS POR <i>TIER</i> (ESTRATO) DE ENERGIA PARA USO PRODUTIVO	60
QUADRO 4. ATRIBUTOS POR <i>TIER</i> (ESTRATO) DE ENERGIA PARA USO COMUNITÁRIO	62
QUADRO 5. EQUAÇÕES POTENCIAL HIDROCINÉTICO	69
QUADRO 6. EQUAÇÕES PARA CÁLCULOS DE COMPONENTES DO SISTEMA	74
QUADRO 7. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO AMBIENTAL E SOCIOECONÔMICA	160
QUADRO 8. FATOR FÍSICO-QUÍMICO	161
QUADRO 9. FATOR BIOLÓGICO	161
QUADRO 10. FATOR SOCIOECONÔMICO	162
QUADRO 11. MATRIZ DE IMPACTOS FATORES FÍSICO-QUÍMICOS E FATORES BIOLÓGICOS	163
QUADRO 12. MATRIZ DE IMPACTOS FATOR SOCIOECONÔMICO.....	164

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. SISTEMAS E POPULAÇÃO ATENDIDA POR ESTADO PELO SISTEMA ISOLADO EM 2019.....	30
TABELA 2. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÔMICAS DA AO	39
TABELA 3. ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA OS DOMICÍLIOS SEM ENERGIA ELÉTRICA NA AO.....	39
TABELA 4. DISPOSIÇÃO DO LIXO NA AO	40
TABELA 5. CONSUMO DE ELETRICIDADE DIÁRIO E ANUAL POR ESTRATO DE ENERGIA	56
TABELA 6. CÁLCULO INDICATIVO DO CONSUMO DE ELETRICIDADE POR ESTRATO E EQUIPAMENTO.....	57
TABELA 7. EXEMPLO ELABORADO DE CONSUMO RESIDENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA COMUNIDADE RURAL AMAZÔNICA	59
TABELA 8. EXEMPLO ELABORADO DE CONSUMO PRODUTIVO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA COMUNIDADE RURAL AMAZÔNICA	61
TABELA 9. CONSUMO COMUNITÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA COMUNIDADE RURAL AMAZÔNICA.....	64
TABELA 10. CONSOLIDADO DE DOMICÍLIOS POR MUNICÍPIO COM MENOS DE 25 % DE ENERGIA ELÉTRICA NA ÁREA RURAL DA AO	104
TABELA 11. DEMANDA ANUAL USO RESIDENCIAL POR ESTADO EM 2019.....	108
TABELA 12. DEMANDA ANUAL PARA USO PRODUTIVO.....	108
TABELA 13. DEMANDA ANUAL PARA USO PRODUTIVO.....	109
TABELA 14. RESULTADOS DE POTÊNCIA DA TURBINA HIDROcinÉTICA NOS LOCAIS VISITADOS	116
TABELA 15. COMUNIDADES SEM ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO ACRE.....	153
TABELA 16. COMUNIDADES RIBEIRINHAS SEM ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO AMAZONAS	154
TABELA 17. COMUNIDADES RIBEIRINHAS SEM ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO RONDÔNIA	158
TABELA 18. COMUNIDADES RIBEIRINHAS SEM ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO RORAIMA	159

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. COMPARATIVO ENTRE MAPAS DA ILUMINAÇÃO DO BRASIL DESDE O ESPAÇO E DE IDH.....	27
FIGURA 2. MAPA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E USINAS HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA.....	29
FIGURA 3. MAPA DOS SISTEMAS ISOLADOS EM 2019.....	31
FIGURA 4. MACRORREGIÕES E MESORREGIÕES HIDROGRÁFICAS NO BRASIL	32
FIGURA 5. MAPA DA AMAZÔNIA OCIDENTAL.....	36
FIGURA 6. GRUPOS NA AMAZÔNIA OCIDENTAL.....	38
FIGURA 7. MAPA GEOMORFOLÓGICO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL.....	41
FIGURA 8. MAPA HIDROGRÁFICO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL.....	42
FIGURA 9. MAPA DE IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL (kWh/m ²) DA AMAZÔNIA OCIDENTAL.....	43
FIGURA 10. MAPA DE SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA COM RIOS E TERMELÉTRICA.	45
FIGURA 11. ESTRATOS DE ENERGIA, USO DE EQUIPAMENTOS E HORAS DE DURAÇÃO	57
FIGURA 12. TECNOLOGIAS USADAS NA AMAZÔNIA	67
FIGURA 13. TURBINAS HIDROcinÉTICAS NO BRASIL.....	72
FIGURA 14. POSSÍVEIS IMPACTOS NO ECOSSISTEMA POR TURBINAS HIDROcinÉTICAS	79
FIGURA 15. PRODUTIVIDADE POR TECNOLOGIA - CENÁRIO HIPOTÉTICO.....	82
FIGURA 16. INTERVALOS DE TEMPO - EXEMPLO	82
FIGURA 17. CAPITAL DE INVESTIMENTO POR TECNOLOGIA	83
FIGURA 18. EXEMPLO DE SISTEMA DE REFERÊNCIA DE ENERGIA.....	84
FIGURA 19. FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA.....	85
FIGURA 20. COMUNIDADE DE CABARI NO MUNICÍPIO DE SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA.....	86
FIGURA 21. MAPA DE PERCURSO REALIZADO SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA.....	88
FIGURA 22. ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS IMPACTOS MEDIANTE A MATRIZ DE LEOPOLD	91
FIGURA 23. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS COMUNIDADES NA REGIÃO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL	96
FIGURA 24. TRANSPORTE DE ALIMENTOS, COMBUSTÍVEL E PESSOAS NO RIO NEGRO - AM	98
FIGURA 25. COMUNIDADES RIBEIRINHAS DO RIO NEGRO.....	99
FIGURA 26. MAPA DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO ACRE.....	100
FIGURA 27. MAPA DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO AMAZONAS.....	101
FIGURA 28. MAPA DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO RONDÔNIA.....	102
FIGURA 29. MAPA DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DO RORAIMA.....	103
FIGURA 30. SISTEMA DE REFERÊNCIA ENERGÉTICO PARA A AMAZÔNIA OCIDENTAL: ACRE, AMAZONAS, RONDÔNIA E RORAIMA	106
FIGURA 31 PRODUTIVIDADE ANUAL DE ELETRICIDADE	110
FIGURA 32. DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA EM PJ (RESIDENCIAL, PRODUTIVA E COMUNITÁRIA)	111
FIGURA 33. SÉRIE HISTÓRICA DE COTAS NO RIO NEGRO.....	113
FIGURA 34. SÉRIE HISTÓRICA DE VAZÃO NO RIO NEGRO.....	114
FIGURA 35. MAPA HIPSOMÉTRICO DE SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA	115
FIGURA 36. COMUNIDADE DE SÃO LUÍS.....	117
FIGURA 37. COMUNIDADE DE CABARI	117
FIGURA 38. COMUNIDADE DE SÃO SEBASTIÃO.....	118
FIGURA 39. SISTEMA REFERENCIAL DE ENERGIA MODELO ENERGIAS RENOVÁVEIS DA VILA INDÍGENA CABARI EM SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA – AM.....	119
FIGURA 40 PRODUTIVIDADE ANUAL DE ELETRICIDADE	121
FIGURA 41. CAPACIDADE ANUAL TOTAL POR TECNOLOGIA (GW).....	122
FIGURA 42. DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA EM GW (RESIDENCIAL, PRODUTIVA E COMUNITÁRIA).....	123
FIGURA 43. SISTEMA REFERENCIAL DE ENERGIA MODELO DIESEL DA VILA INDÍGENA CABARI EM SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA – AM.....	123
FIGURA 44 PRODUTIVIDADE ANUAL DE ELETRICIDADE	125
FIGURA 45. COMUNIDADE CABARI – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL.....	128
FIGURA 46. MARGEM DO RIO NEGRO NA COMUNIDADE E VEGETAÇÃO E PROVÁVEL LOCAL DE INSTALAÇÃO DA TURBINA.....	129

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AC: Acre

ADPC: Acoustic Doppler Current Profiler

AG: área agricultável

AM: Amazonas

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

AO: Amazônia Ocidental

ARA: assentamentos de reforma agrária

BH: Bacias Hidrográficas

BIO: biomassa

BS: *Backstop*

C: carbono

CAR VEG: carvão vegetal

CC: custo capital

CCC: Conta de Consumo de Combustíveis

CDE: Conta de Desenvolvimento Energético

CEH: Centro para Ecologia e Hidrologia

CEH: Conversores de Energia Hidrocinética

CERPCH: Centro Nacional de Referência em Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos

CFD: Simulação Computacional de Dinâmica de Fluidos

COM ELC: demanda de energia elétrica comunitária

COVID-19: doença do coronavírus

DOE: Departamento de Energia dos Estados Unidos

DSL IMP: diesel

DVD/dvd: *digital vídeo disk*

E01: estação de energia a carvão

E21: estação de energia a carvão

E31: estação de energia hidro

E51: estação de energia bombeamento

E70: estação de energia a diesel

EFLUL: Empresa Força e Luz de Urussanga

FAS: Fundação Amazônia Sustentável

FC: fator de capacidade

FD: fator de disponibilidade
Finatec: Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos
FOIRN: Federação das Organizações Indígenas do Rio Negro
FUNAI: Fundação Nacional do Índio
GHI: irradiação horizontal global
GLP: Gás Liquefeito de Petróleo
GPS: Global Positioning System
H: hidrogênio
Hab: habitantes
HID: fluxos de água
I: intermediário
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH: Índice de Desenvolvimento Humano
IEE: Instituto de Energia e Ambiente
IEMA: Instituto de Energia e Meio Ambiente
IMPDSL: diesel
IMPGSL1: gasolina
IMPHCO1: carvão
IMPOIL1: petróleo bruto importado
IMPURN1: Urânio
INCRA: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET: Instituto Nacional de Meteorologia
INPA: Instituto de Pesquisas da Amazônia
IPAM: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
ISA: Instituto Socioambiental
KTH: *Royal Institute of Technology*
LEA: Laboratório de Energia e Ambiente
LED: *Light Emitting Diode*
LGP: Liquefeito de petróleo
LR1: lâmpadas
MIDGI: Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica
MME: Ministério de Minas e Energia
N: nitrogênio

Ni-Cd: níquel-cádmio

O: oxigênio

ONG: Organização não Governamental

OSeMOSYS: Open Source energy MOdelling SYStem

P&D: pesquisa e desenvolvimento

PAS – Plano Amazônia Sustentável

Pb-Ácido: chumbo-ácido

PCH: pequena central hidrelétrica

PETI: Programa de Erradicação do Trabalho Infantil

PND: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PROD ELC: demanda de energia elétrica produtiva

PRODEEM: Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios

PWRBIO: energia da biomassa

PWRCHC: carvão/lenha

PWRDSL: energia do diesel

PWRHYD: energia de fontes hídricas

PWROH: carvão vegetal para preparação de alimentos

PWRSOL: energia do sol/irradiação solar

QLB: quilombos

RES ELC: demanda de energia elétrica residencial

RHE: aquecimento por aquecedores elétricos

RHO: aquecimento a óleo

RI: rios

RO: Rondônia

RR: Roraima

S: enxofre

S: verão

SCT: setor censitário

SEB: Sistema Elétrico Brasileiro

SI: Sistema Isolado

SIG: Sistema de Informação Geográfica

SIGFI: Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente

SIN: Sistema Interligado Nacional

SOL: luz solar
SRE: Sistema Referencial de Energia
STV fogão: demanda de energia para preparação de alimentos com lenha
TC: tempo de cada cultura
TI: Terras Indígenas
TIC: tecnologia da informação e comunicação
TRA DSL: demanda de energia para transporte com diesel
TXD: veículo a diesel
TXE: veículo elétrico
TXG: veículo a gasolina
UC: unidade consumidora
UC: unidades de conservação
UFAM: Universidade Federal do Amazonas
UFPA: Universidade Federal do Pará
UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro
UnB: Universidade de Brasília
Unifei: Universidade Federal de Itajuba
UPP: unidade possível de produção
USP: Universidade de São Paulo
W: inverno
WWF: *World Wide Fund for Nature*

LISTA DE SIMBOLOS

\leq : menor ou igual
°C: graus centígrados
Cd: cádmio
cm: centímetros
CO₂: dióxido de carbono
CV: cavalo-vapor
GW: Gigawatts
has: hectare
Kb: coeficiente de Betz Kb

kcal/kg: quilocaloria por quilograma

kg/m³: quilograma por metro cúbico.

KJ: quilojoule

km²: quilômetros quadrados

kVA: quilovolts-ampere

kW: quilowatts

kWh: quilowatts hora

L/h: litro por hora

L/kW: litro por quilowatt

m/s: metro por segundo

m: metros

MJ m⁻² d⁻¹: Megajoule, metro, dia

mm: milímetros

MW: megawatts

Ni: níquel

NO_x: óxido de nitrogênio

Pb: chumbo

pH: potencial de hidrogênio

PJ: Petajoule

spp: espécie

t: tempo

Sumário

RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	6
RESUMEN	7
1. INTRODUÇÃO	18
1.1. Problema de pesquisa	18
1.2. Objetivos geral e específicos	21
1.3. Justificativa	21
1.4. Delimitação do trabalho	22
1.5. Estrutura do trabalho	23
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
2.1. ENERGIA, POBREZA E DESENVOLVIMENTO	24
2.2. SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO	28
2.3. AMAZÔNIA OCIDENTAL E SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA - AM.....	35
2.3.1. Amazônia Ocidental	35
2.3.2. São Gabriel da Cachoeira – Amazonas.....	43
2.4. CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA DAS COMUNIDADES AMAZÔNICAS	
48	
2.5. DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	52
2.6. POTENCIAL ENERGÉTICO E TECNOLOGIAS	65
2.6.1. Grupos Geradores a Óleo Diesel	67
2.6.2. Microcentrais hidrelétricas	68
2.6.3. Turbinas hidrocínéticas.....	68
2.6.4. Turbinas eólicas.....	72
2.6.5. Painéis fotovoltaicos.....	73
2.6.6. Turbinas para gaseificação, combustão de biomassa e biodiesel	75
2.7. IMPACTOS AMBIENTAIS DE TURBINAS HIDROCÍNÉTICAS.....	77
2.8. MODELAGEM ENERGÉTICA	81
3. METODOLOGIA	85
3.1. POPULAÇÃO E AMOSTRA	86
3.2. COLETA E TRATAMENTO DE DADOS.....	87
3.3. TÉCNICAS DE ANÁLISE	89
3.4. MODELO OSeMOSYS	91
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	94
4.1. USO E DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA DAS COMUNIDADES RURAIS	
DA AMAZÔNIA OCIDENTAL.....	94

4.1.1.	Perfil de consumo das comunidades rurais da Amazônia Ocidental	94
4.1.2.	Demanda de energia elétrica das comunidades rurais da Amazônia Ocidental	99
4.2.	MODELAGEM ENERGÉTICA PARA AMAZÔNIA OCIDENTAL	105
4.3.	MODELAGEM ENERGÉTICA PARA A VILA INDÍGENA DE SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA	112
4.3.1.	Potencial hidrocínético de Cabari em São Gabriel da Cachoeira	112
4.3.2.	Modelagem energética de Cabari em São Gabriel da Cachoeira	119
4.4.	IMPACTOS AMBIENTAIS NA VILA DE CABARI EM SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA	127
5.	CONCLUSÕES E PESQUISAS FUTURAS	132
5.1.	CONCLUSÕES	132
5.2.	TRABALHOS FUTUROS E LIMITANTES DA PESQUISA	135
	Limitações da pesquisa	135
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
	APÊNDICE I	153

1. INTRODUÇÃO

1.1. Problema de pesquisa

Desde 1987, a Universidade de Brasília – UnB desenvolve sistemas hidrocinéticos, o primeiro modelo, Geração I, foi realizado em parceria com a Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos – Finatec em 1995 e instalado no município de Correntina na Bahia. Um segundo modelo, Geração II, também instalou-se em Correntina em 2005 (BOLAÑOS, 2015). Esse mesmo modelo implementou-se em 2003 na Ilha de Maracá no Amapá em parceria com o Ministério de Minas e Energia (MME). Em 2004 um terceiro modelo, Geração III elaborou-se em parceria com a Eletrobras, sem ser posteriormente instalado em campo. Em 2014, em parceria com a Eletrobras desenhou-se um modelo de grandes dimensões, que não chegou a ser construído para ser instalado na usina Hidrelétrica de Tucuruí no estado do Pará. Por último em 2017 desenhou-se e construiu-se um modelo de arranjo de turbinas hidrocinéticas em parceria com a AES Brasil para ser instalado em uma usina hidrelétrica no estado de São Paulo (OLIVEIRA, 2016).

Indicando um trabalho em comunidades afastadas na região do Nordeste e Norte do País. A Amazônia tem características que a diferenciam de outras regiões do país, está conformada por 5 milhões de quilômetros quadrados e uma população é de 17 milhões de habitantes, com densidade demográfica de 3,5 hab/km² (LANNES, 2017). Os habitantes demandam direitos como saúde e educação, serviços básicos e demais meios para sua reprodução, fatores necessários para garantir a permanência nos seus locais (DI LASCIO; BARRETO, 2009).

Essas características promoveram poucos investimentos ao longo dos anos em infraestrutura de transporte, de saneamento, de energia e de comunicação com consequências sociais, econômicas e ambientais. Como resultado a infraestrutura é restrita, inconstante, mal distribuída e deficiente para impulsionar o desenvolvimento sustentável regional. Os principais gargalos são a falta de serviços básicos e de vias de acesso. Entre os serviços encontra-se a energia elétrica, cuja falta dificulta atividades produtivas agrícolas e extrativistas, e impede a agregação de valor aos bens naturais (CARTAXO, 2000 ; BRASIL, 2008).

A população amazônica é composta por um grupo diverso que inclui pessoas de regiões diferentes do Brasil e do mundo. Predomina a miscigenação de negros, indígenas e

brancos (SANTOS; SALGADO; PIMENTEL, 2012). As populações se caracterizam por desenvolver atividades de subsistência e vêm apresentando mudanças em seus hábitos de vida por recentes projetos de desenvolvimento¹, particularmente na área de infraestrutura, ocasionando um processo adaptativo (DE OLIVEIRA et al., 2013).

As mudanças e adaptações das populações estão relacionadas com ajustes reguladores de caráter morfológico e funcional, visando uma relação estável com o entorno para aumentar as possibilidades de sobreviver e viver com relativo bem-estar em ambientes variados (MORAN, 2010). A adaptação determina o estilo de vida e de consumo como também as relações entre a zona rural e a urbana, na busca por suprir necessidades básicas e melhorar as condições de vida.

Na área rural existem milhares de pequenas comunidades dispersas pelas margens dos rios e igarapés, afastadas dos centros produtores e com o rio como única via de transporte. As principais atividades econômicas são a pesca, a agricultura, o extrativismo e o artesanato. Praticam o escambo² entre vizinhos e o excedente é vendido no centro urbano mais próximo. Seu modo de produção e sua identidade sociocultural são determinados pela vida na várzea ou na terra firme (ELETRONORTE, 2017 ; SILVA et al., 2010 e CHAVES, 2001).

Para atender a demanda de energia elétrica, a fonte mais utilizada é o óleo diesel mediante usinas, esse combustível, além do alto preço, é contaminante (fumaça, gases poluentes e metais pesados) e deve ser transportado desde as cidades, por longos períodos através dos rios. Nos municípios o combustível é abastecido mediante a Conta de Consumo de Combustíveis – CCC, nesse contexto as concessionárias consideram inviáveis extensas redes devido às características dos locais e a densidade populacional. Nas comunidades remotas, muitas vezes o suprimento de energia elétrica é independente da concessionária, mediante sistemas de pequenos geradores de óleo diesel fruto da mobilização das pessoas e administrados pelos moradores, que compram esses equipamentos com dinheiro próprio ou com a ajuda de projetos e programas de Organizações não Governamentais (ONG's) que trabalham na região (MATIELLO et al., 2018).

De acordo com o Censo de 2010 os domicílios sem energia elétrica na Amazônia eram 251.216, ou seja, cerca de 1.148.620 pessoas, considerando-se que em cada domicílio

¹ Construção de usinas hidrelétricas, construção de vias, implementação de sistemas de geração de energia elétrica renovável, abastecimento de água, etc.

² Prática de troca comercial direta de bens ou serviços sem intermediação de moeda (TRIGOSO, 2004).

a média de moradores é de 5 pessoas (esse cálculo foi realizado com base em literatura e com a visita de campo). É importante ressaltar que não existem dados mais recentes sobre o número de domicílios e pessoas sem energia elétrica no país por falta de atualização desses dados por parte das instituições governamentais como acontece com o IBGE e o Censo Populacional. Para Dilascio e Barreto (2009), as regiões de baixa densidade populacional têm baixo índice de eletrificação porque a extensão de rede para poucos consumidores, somado às características geográficas, torna inviável o atendimento.

A demanda por energia elétrica é de três tipos: residencial, produtiva e comunitária, sendo que o atendimento mediante o Programa Luz para Todos (criado em julho de 2011 mediante o Decreto 7.5420) é complexo porque são prioritários os atendimentos produtivos que fomentem o desenvolvimento local integrado. Entretanto, a potência instalada de transformação por unidade consumidora não pode ultrapassar 15 kVA, exceto em casos especiais como poços de água para atendimento comunitário, o que ocasiona dificuldades técnicas pela falta de planejamento sobre a possibilidade desses usos nas comunidades, e que geralmente só atendem à demanda monofásica residencial e não produtiva e comunitária, de demandas trifásicas (DI LASCIO; BARRETO, 2009).

Como alternativa à geração de energia com óleo diesel são analisadas fontes renováveis da região representadas por rios, biomassa, vento e irradiação solar, com tecnologias que dependem da sazonalidade. O recurso mais utilizado na Amazônia é o hídrico e tem sido aproveitado mediante hidrelétricas que beneficiam os centros urbanos e industriais deixando de lado às populações amazônicas³. Nesse contexto, falta uma visão na política de governo de menor escala e que beneficie grupos sociais amazônicos que precisam de tecnologias adaptadas ao seu entorno (MATIELLO et al., 2018).

A demanda por energia para os sistemas isolados é suprida, principalmente, por térmicas a óleo diesel gerando um elevado custo com a Conta de Consumo de Combustíveis, o que faz necessário buscar soluções de suprimento de energia que permitam reduzir o consumo desse óleo e o custo de geração mediante outras fontes energéticas (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2019).

³ Para as populações ribeirinhas, muitas vezes os impactos são negativos porque geralmente são remanejadas, mudam os cursos naturais dos corpos hídricos, se destroem biomas diminuindo fauna e flora, extinguem espécies endêmicas, desaparecem sítios arqueológicos, se alteram os microclimas locais e fontes de subsistência. Já os impactos positivos são para áreas urbanas mediante a acesso à energia elétrica residencial e produtiva, no Sudoeste e Centro-Oeste do país.

Assim a pesquisa buscou responder à pergunta de qual é o modelo energético adequado para a região da Amazônia Ocidental. Em modelo elaborado para a Tunísia foram criados dois cenários com base nas estratégias do governo, o primeiro com uso de 5 % de energias renováveis e o segundo com 30 % de fontes renováveis. Os resultados mostraram em ambos os cenários até 2030 com elevada integração das fontes energéticas (solar, hídrica, eólica, gás natural, combustível e gasóleo). A participação da capacidade instalada de energias renováveis é de 26% no primeiro cenário e 32% no segundo. Isso se deve à diminuição dos custos de capital das tecnologias renováveis ao longo do tempo, o que as torna cada vez mais competitivas (DHAKOUANI et al., 2017).

1.2. Objetivos geral e específicos

O objetivo geral desta pesquisa é estimar a modelagem energética para comunidades rurais da Amazônia Ocidental e estudo de na vila indígena de Cabari no município de São Gabriel da Cachoeira.

Os objetivos específicos são:

- Calcular a demanda de energia elétrica em comunidades rurais na Amazônia Ocidental;
- Propor uma modelagem de energia elétrica para comunidades rurais da Amazônia Ocidental;
- Analisar o potencial hidrocínético em um trecho do rio Negro em seis vilas indígenas do município de São Gabriel da Cachoeira no estado do Amazonas;
- Analisar os impactos ambientais da instalação de uma turbina hidrocínética em uma vila indígena do município de São Gabriel da Cachoeira no estado do Amazonas.

1.3. Justificativa

Os padrões de consumo de energia elétrica podem variar conforme as mudanças no estilo de vida da população. É importante mencionar que não foram encontrados na literatura dados recentes do consumo médio de energia elétrica nestas populações.

A Amazônia Ocidental é composta pelos estados do Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima. É a região com menor cobertura do serviço de energia elétrica no país, sua importância em termos de diversidade ecossistêmica e cultural e a necessidade de ter um desenvolvimento sustentável. A região é de grande importância ambiental e econômica para

o país. É uma das mais defasadas em termos de infraestrutura, notadamente do serviço de energia elétrica e por isso se considerou importante analisar o perfil de demanda real e o potencial energético das comunidades rurais. De igual forma é importante mencionar que não existe uma base de dados socioeconômica completa das comunidades rurais amazônicas.

No caso de sistemas de geração de energia elétrica, além de propiciar a instalação no próprio local é necessário considerar fatores como treinamento dos usuários, equipamentos adaptados às condições da região e empoderamento das comunidades para evitar o desperdício de dinheiro público. Exemplo foi a instalação de 9.000 sistemas fotovoltaicos durante a vigência do Prodeem na década de 90 e dos quais 78 % (7.000 unidades), em menos de 10 anos, foram sucateados por falta de planejamento e de considerar as características sociais, econômicas e ambientais da Amazônia, potencial, demanda e consumo (BARRETO et al., 2008).

Como contribuição esta pesquisa fornece dados sobre perfil e demanda das comunidades rurais, basicamente composta por indígenas, ribeirinhos, extrativistas, assentamentos da reforma agrária e quilombolas, muitos deles localizados em unidades de conservação. Igualmente permite conhecer o mix de fontes energéticas e tecnologias disponíveis para geração de energia com informações de capacidade e produção para os cenários elaborados no período de 2020 a 2070.

A contribuição prática da pesquisa é fornecer dados aos gestores para elaboração de políticas públicas focadas na inclusão social das populações amazônicas mediante o acesso à energia elétrica e os benefícios sociais, econômicos e ambientais que podem alcançar, com o uso de energias renováveis.

1.4. Delimitação do trabalho

Esta pesquisa teve como objetivo estimar a demanda e modelagem de energia elétrica para comunidades rurais da Amazônia Ocidental, com estudo de caso de potencial hidrocinético e avaliação de impacto ambiental em um trecho do rio Negro no município de São Gabriel da Cachoeira.

De forma a delimitar a pesquisa sobre modelagem energética na Amazônia foi selecionada a Amazônia Ocidental, a justificativa para escolha encontra-se explicada na justificativa do presente capítulo. A metodologia para alcançar o objetivo incluiu várias técnicas, dados secundários e primários, esses últimos obtidos mediante visita de campo

realizada em abril do ano de 2018 ao município de São Gabriel da Cachoeira no Estado do Amazonas.

1.5. Estrutura do trabalho

Este documento está estruturado em cinco capítulos, o capítulo 1 é a introdução e inclui problemática, objetivos, justificativa e delimitação da pesquisa. O capítulo 2 é o referencial teórico que aborda os temas de energia, pobreza e desenvolvimento; sistema elétrico brasileiro; Amazonia Ocidental e São Gabriel da Cachoeira; caracterização socioeconômica das comunidades amazônicas; demanda e consumo de energia elétrica; potencial energético e tecnologias e impactos ambientais de turbinas hidrocínéticas.

O capítulo 3 é a metodologia com descrição da população e amostra; coleta e tratamento de dados; técnicas de análise e modelo OSeMOSYS. O capítulo 4 são os resultados e discussões com base nos objetivos propostos e literatura. E finalmente o capítulo 5 com as conclusões e sugestão de trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ENERGIA, POBREZA E DESENVOLVIMENTO

A tríade energia, pobreza e desenvolvimento denota a importância e a necessidade de ações de planejamento. O acesso a formas modernas de energia é um pré-requisito essencial para superar a pobreza, promover o crescimento econômico, expandir as oportunidades de emprego, apoiar a prestação de serviços sociais e, em geral, promover o desenvolvimento humano (JOHANSSON et al., 2012 ; GONZÁLEZ-EGUINO, 2015).

No mundo, quatro em cada cinco pessoas sem eletricidade vivem em áreas rurais em países em desenvolvimento. A energia elétrica permite a existência e aprimoramento de serviços comunitários como escolas e postos de saúde; melhoramento da produtividade com o uso de bombas de irrigação, armazenamento e transformação de produtos, acesso a mercados e informações e aumento da produtividade mediante o uso de equipamentos, etc. (JOHANSSON et al., 2012 ; KAYGUSUZ, 2011).

As taxas de pobreza e problemas energéticos tendem a ser maiores em áreas rurais remotas do que em áreas mais acessíveis. Esse vínculo entre pobreza e falta de energia se conhece como “nexo energia-pobreza” porque as poucas oportunidades de produtividade, de meios de subsistência e melhoramento das condições de vida resultam em um círculo vicioso de pobreza e falta de energia elétrica que dificultam a construção de capital social e humano com maior geração de renda (JOHANSSON et al., 2012).

Um quinto da população mundial (quase 1,3 bilhão de pessoas) não têm acesso à eletricidade e aproximadamente 2,6 bilhões usam a madeira como única fonte de energia, principalmente nas áreas rurais. Somado a isso, outros milhões que têm acesso à energia elétrica são incapazes de atender às suas necessidades básicas porque não podem pagar pelo serviço (GONZÁLEZ-EGUINO, 2015).

A Pobreza energética é definida pela falta de escolha no acesso adequado, acessível, confiável, de alta qualidade, seguro e ambiental de serviços de energia para o desenvolvimento econômico e humano. A pobreza e a desigualdade no mundo também se refletem em altos níveis de pobreza energética e desigualdades no consumo de energia. Na maioria dos países, a biomassa é a principal fonte de combustível usada para atender as necessidades, contudo não é a mais adequada nem é a mais barata: geralmente é apenas a única opção (GONZÁLEZ-EGUINO, 2015).

O acesso à energia elétrica é também um insumo essencial para alcançar a maioria dos ODM, que são uma referência de progresso contra a pobreza. As Nações Unidas estabeleceram 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para alcançar o desenvolvimento sustentável (UNITED NATIONS, 2021 ; GONZÁLEZ-EGUINO, 2015).

Os ODS possuem fortes interdependências, e por esse motivo não tem como excluir um de outro porque trabalham juntos. A educação constrói capital humano, que por sua vez promove o crescimento econômico, igualdade de gênero e redução de desigualdades. Promover o ensino básico e fundamental de qualidade é fundamental, e está vinculado com acesso a iluminação para aulas noturnas na escola e trabalho dos alunos em casa, fornecimento constante de água e alimentos na escola, mídia educacional que aprimore o ensino e permanência dos professores nas localidades, e até a possibilidade de ensino a distância mediante o acesso à internet. Opções de energia acessíveis e confiáveis podem ampliar o escopo para empresas femininas, promovendo a geração de emprego e renda entre as mulheres. Pode liberar o tempo de meninas e mulheres de atividades de sobrevivência (coleta de lenha, coleta de água, etc.) (UNITED NATIONS, 2021 ; SACHS et al., 2019).

O acesso a fontes de energias modernas inclui o uso de fontes renováveis porque o acesso à energia moderna é considerado uma condição prévia para o desenvolvimento sustentável, erradicação da pobreza e da desigualdade. A energia fornece diversos benefícios sociais, informacionais e de saúde, portanto, a eletricidade constitui a base para a satisfação das necessidades humanas fundamentais. A longo prazo o consumo de eletricidade causa um impacto positivo no índice de desenvolvimento humano. O estudo realizado em países da África subsaariana revelou que a disparidade na distribuição de renda tem um efeito negativo no acesso à eletricidade, enquanto as melhorias nos níveis de renda e no índice de desenvolvimento humano têm um impacto positivo no acesso à eletricidade (SARKODIE; ADAMS, 2020).

A pobreza e fome extrema relaciona-se com o fato de combustíveis mais limpos e eletricidade reduzir gastos da renda familiar com preparo de alimentos, iluminação e aquecimento. A maior parte dos alimentos básicos (95%) precisam ser cozinhados antes de serem consumidos e de água para seu preparo. As perdas pós-colheita podem ser reduzidas por meio de preservação e resfriamento ou congelamento. Igualmente o uso de energia elétrica facilita a irrigação a fim de aumentar produção de alimentos e melhorar a nutrição. Equipamentos elétricos podem aumentar a produtividade e possibilitar a geração de renda (UNITED NATIONS, 2021 ; SACHS et al., 2019).

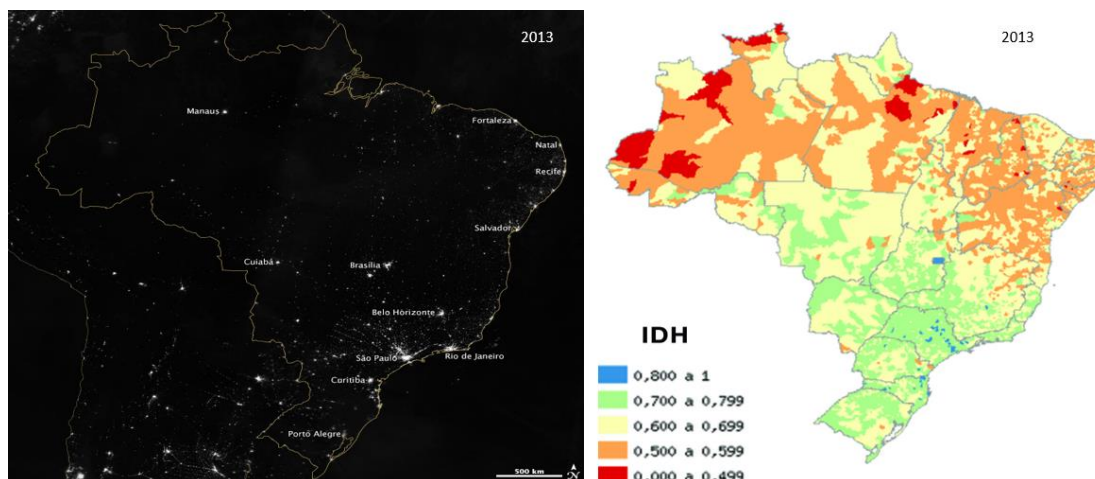
A mortalidade infantil e a saúde materna estão vinculadas com coleta e preparação de combustíveis tradicionais que expõe mulheres grávidas e crianças a riscos para a saúde, o fornecimento de alimentos nutritivos cozidos, ambientes aquecidos ou resfriados. O tratamento de água e seu bombeamento até casas e locais de atendimento público, reduzem a transmissão de doenças hídricas. Combustíveis e equipamentos de cozinha limpos podem reduzir a exposição de mulheres grávidas e crianças à poluição do ar interior. Permite o acesso a instalações médicas adequadas para cuidados maternos e pediátricos, incluindo serviços de laboratório, refrigeração de medicamentos, esterilização de equipamentos e salas de operação. As instalações médicas também relacionam-se com o objetivo 6 que trata de HIV / AIDS, malária e outras doenças importantes; e o acesso à mídia de educação em saúde por meio de informações e tecnologias de comunicações (JOHANSSON et al., 2012 ; UNITED NATIONS, 2021 ; SACHS et al., 2019).

O crescimento econômico é um pré-requisito essencial para superar a pobreza, para sustentar esse crescimento é necessário melhorar o acesso a formas mais limpas e modernas de energia e aos serviços que facilitam (JOHANSSON et al., 2012).

Na Figura 1 aparecem dois mapas, o primeiro é uma foto do Brasil tomada desde o espaço e que mostra os locais com iluminação, ou seja, com energia elétrica indicando que é maior o acesso encontra-se nas regiões Centro-Oeste, Sudeste, Sul e parte do Nordeste e falta na região Norte. Já no segundo mapa encontra-se uma ilustração do Índice de Desenvolvimento Humano – IDH no país e que mostra o baixo IDH justamente nas regiões Nordeste e Norte. Ambos os mapas coincidem em termos de desenvolvimento e acesso à energia elétrica indicando a relação existente entre energia e IDH.

Essa figura também exemplifica o nexos energia – pobreza já que regiões com menor acesso à energia elétrica dificilmente desenvolvem seu capital humano e financeiro, e portanto, não perpassam pelo mote desenvolvimento sustentável.

Figura 1. Comparativo entre mapas da iluminação do Brasil desde o espaço e de IDH



Fonte: (Nasa, 2014 e UNDP, 2013).

O conceito de desenvolvimento sustentável é dinâmico, foi se adaptando às exigências contemporâneas de um ambiente global complexo, mas os princípios e objetivos subjacentes, bem como os problemas de sua implementação permaneceram quase inalterados. Esses objetivos estão unidos na estrutura dos ODS, que delineiam os desafios que a humanidade tem. O desenvolvimento sustentável deve fornecer uma solução em termos de atendimento das necessidades básicas humanas, integrando o desenvolvimento e proteção ambiental, alcançando a igualdade, garantindo a autodeterminação social e a diversidade cultural, e mantendo a integridade ecológica (KLARIN, 2018).

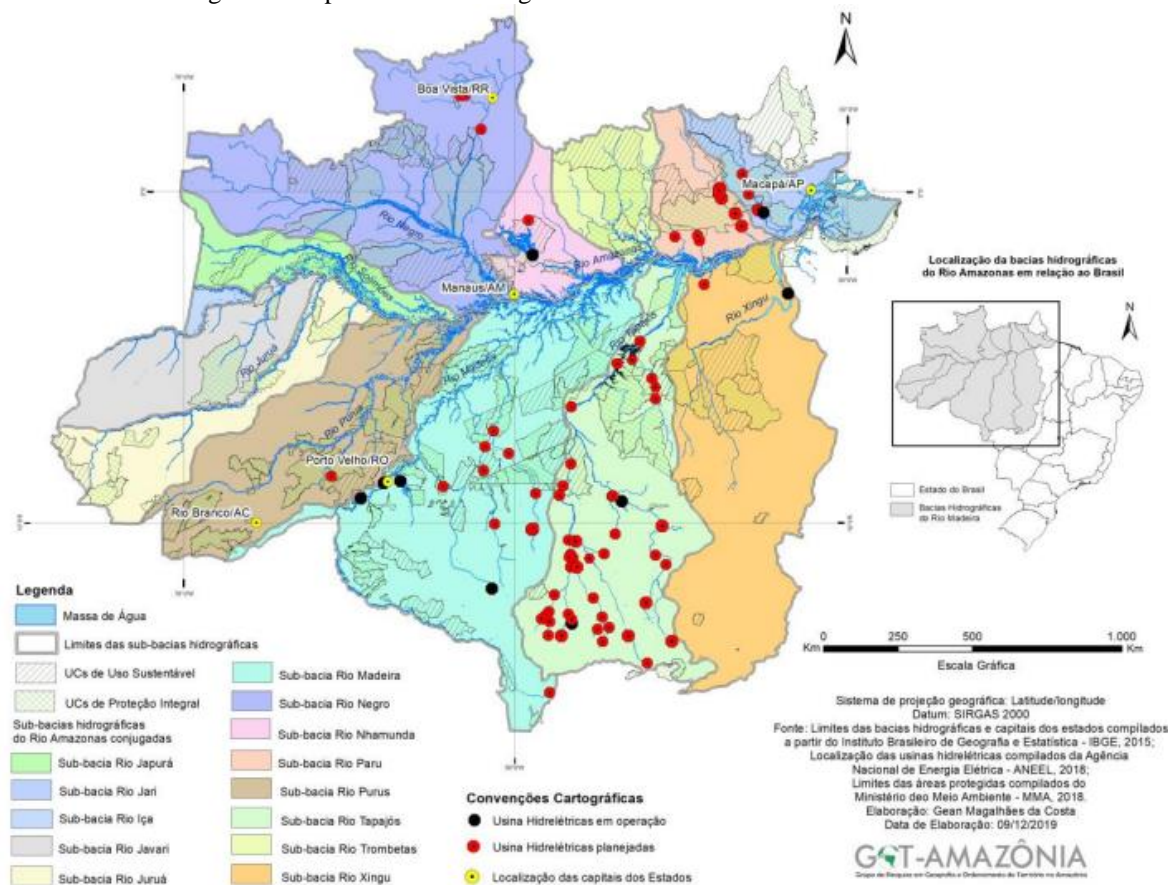
Existe a sustentabilidade fraca e a sustentabilidade forte, a fraca é uma perspectiva tecno-otimista ou tecnocêntrica que implica uma quantidade constante de recursos ao longo do tempo, embora o capital natural e o manufaturado sejam intercambiáveis. Ou seja, a redução de recursos naturais deve ser sempre equilibrada pelos recursos produzidos (extração ótima de recursos não renováveis). E a forte é uma perspectiva ecológica ou ecocêntrica, na qual existe rigorosa proteção ambiental. Para essa abordagem certos recursos naturais críticos nunca podem ser complementados ou substituídos por outras formas de recursos porque são irreversíveis, e sua perda reflete em todas as outras formas de capital

2.2. SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

A geração e transmissão de energia elétrica no Brasil é de tipo hidrotérmico de grande porte com alta prevalência de usinas hidrelétricas. O Sistema Elétrico Brasileiro possui características determinadas pelas dimensões continentais e a diversidade hidrológica das bacias hidrográficas, com complementaridade entre as regiões e o uso de um extenso sistema de linhas de transmissão de longa distância. O sistema é dividido em dois parques, o parque do Sistema Interligado Nacional - SIN e o Sistema Isolado - SI. O primeiro é composto pela rede interligada e tem quatro subsistemas denominados Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte e atende 97% da população brasileira (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA-EPE, 2016).

A capacidade instalada de geração do SIN é basicamente composta de usinas hidrelétricas distribuídas em dezesseis bacias hidrográficas nas diferentes regiões do Brasil. O SIN está avançando na integração com o SI, localizado basicamente na Amazônia (ONS, 2020). Nos últimos anos vem crescendo a instalação de usinas eólicas, especialmente nas regiões Nordeste e Sul. As usinas térmicas, geralmente localizadas próximas dos principais centros de carga, cumprem um papel estratégico relevante, já que contribuem para a segurança do SIN. Essas usinas são despachadas rapidamente em função das condições hidrológicas (ONS, 2020 ; EPE, 2020). As usinas em operação e planejadas até o ano 2018 na Amazônia encontram-se na Figura 2.

Figura 2. Mapa de bacias hidrográficas e usinas hidrelétricas na Amazônia



Fonte: (MAGALHÃES; MADALENA; CAVALCANTE, 2020)

O segundo, atende os estados pertencentes a Amazônia Legal com 3% da população brasileira, é formado prioritariamente por termoelétricas atendidas por nove distribuidoras, o sistema está dividido em dois subsistemas que são Capitais e Interior. O primeiro fornece energia elétrica às capitais dos estados e o segundo pequenas cidades (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA -ABRADEE, 2018). Existem 272 localidades isoladas no Brasil, até 2017 existiam 46 localidades (17%) com previsão de interligação até o ano de 2024 ao SIN e outras 43 após esse ano. Os Sistemas Isolados estão localizados nos estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá, Pará, a ilha de Fernando de Noronha (Pernambuco) e localidades de Mato Grosso (ONS, 2020 ; EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2019).

Na Tabela 1 é apresentado o resumo dos estados e sistemas isolados atendidos pelo Sistema Isolado, sendo que a população totaliza 3.312.451. No caso da Amazônia Ocidental a população atendida é de 2.627.698.

Tabela 1. Sistemas e população atendida por Estado pelo Sistema Isolado em 2019

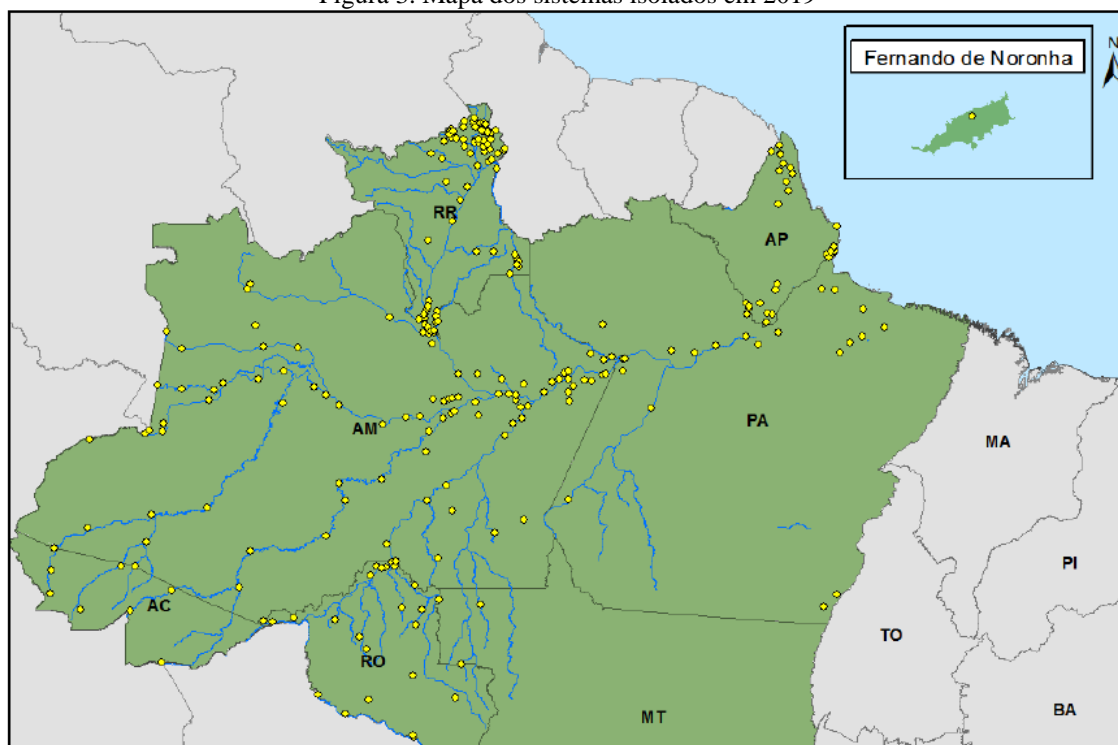
Estado	Número de Sistemas	População atendida
Acre	9	279.189
Amapá	29	43.315
Amazonas	95	1.549.241
Pará	25	678.694
Rondônia	26	214.241
Roraima	86	541.712
Mato Grosso	1	3.038
Pernambuco	1	3.021

Fonte: adaptado a partir de (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2019).

É importante ressaltar, com base na Tabela supracitada, que os sistemas isolados atendem uma parte considerável da população desses estados e que o número de sistemas é elevado, sendo que são termelétricas que usam óleo diesel para seu funcionamento, o que significa um investimento financeiro considerável e também um alto impacto ambiental por gases efeito estufa.

Como observado na Figura 3, esses sistemas isolados estão localizados basicamente às margens dos rios, incluem pequenas comunidades que já contam com um suprimento informal ou parcial de energia elétrica mediante pequenos geradores. As comunidades afastadas podem ser entendidas como “regiões remotas” mediante o Programa Luz para Todos. As “regiões remotas” são pequenos agrupamentos de consumidores, afastados das sedes municipais e caracterizadas pela ausência de economias de escala ou de densidade, conforme o Decreto n. 7.246/2010 (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2019).

Figura 3. Mapa dos sistemas isolados em 2019



Fonte: (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2019).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE em 2010 existiam no Brasil 728.672 domicílios sem energia elétrica, dos quais 595.435 estavam na área rural (81,71 %) e o restante na área urbana (18,29 %). Na Amazônia a quantidade era de 251.216 domicílios, sendo 92,38 % localizados na área rural (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2010). Além dos domicílios são consideradas como unidades consumidoras de energia elétrica escolas, postos de saúde, associações de produtores, igrejas, cooperativas, entre outras. O número total de unidades sem o serviço pode ser maior no caso de comunidades em regiões remotas porque geralmente são excluídas das estatísticas oficiais devido a sua localização.

O Brasil deseja manter sua matriz energética renovável e nessa linha de pensamento vem realizando investimentos em fontes renováveis. Assim o SIN ampliará a geração até o ano 2024 (132.878 MW em 2014 para 206.447 MW em 2024) mantendo a superioridade da geração hidrelétrica. Em 2019 os dados mostraram que a porcentagem de capacidade instalada no país era de 63,7 % em hidrelétrica; 9,2 % em eólica; 9,0 % em biomassa; 8,1 % em gás natural; 5,4 % em petróleo; 2,0 % em carvão mineral; 1,3 % em fotovoltaica e 1,2 % em nuclear (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA- EPE, 2016 ; MENDONÇA et al., 2019). Os investimentos e o potencial de geração de energia são descritos em documentos

como o Plano Nacional de Energia 2050 e o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 elaborados pela Empresa de Pesquisa Energética, onde são tratadas oferta e demanda de energia e apresentados programas.

Essa superioridade de geração hidrelétrica obedece ao potencial do país, riqueza hídrica representada por 12 Bacias Hidrográficas – BH, no mapa da Figura 4 encontram-se as bacias hidrográficas no país.

Figura 4. Macrorregiões e mesorregiões hidrográficas no Brasil



Fonte: ANA e IBGE (2021)

As vazões médias nas bacias são: BH Amazônica (132.145 m³/s); BH do São Francisco (varia entre 1.077 m³/s e 5.290 m³/s); BH do Tocantins – Araguaia (13.799 m³/s); BH do Paraná (10.371 m³/s); BH do Parnaíba (763 m³/s); BH do Uruguai (4.117 m³/s); BH do Paraguai (1.833 m³/s); BH do Atlântico Nordeste Oriental (813 m³/s); BH do Atlântico Nordeste Ocidental (2.514 m³/s); BH do Atlântico Nordeste Leste (1.484 m³/s); BH do Atlântico Nordeste Sudeste (3.286 m³/s) e a BH do Atlântico Nordeste Sul (4.129 m³/s).

Nessas BH existem 1.245 usinas (incluídas Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH que geram em média uma potência de até 30 MW) com um total 98.029 MW (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, 2017); (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2017).

A rede de bacias constitui um potencial hidrelétrico, calculado em 260 GW. A maior parte está localizada na região Amazônica, cujos rios são torrenciais e correm em planícies. Além da energia hidráulica, está a hidrocínética que gera eletricidade, em pequena escala mediante equipamentos que aproveitam o movimento da água das ondas, marés, correnteza dos rios e canais. Este tipo de tecnologia vem sendo objeto de projetos experimentais, com forte interesse estratégico para o suprimento de micro demandas descentralizadas na Amazônia Brasileira (CERPCH, 2005 ; ELS et al., 2003).

Países como Reino Unido, Irlanda, França, Espanha, China, Japão, Coreia do Sul, Canadá, Portugal e Estados Unidos têm identificado nas correntezas uma fonte que pode contribuir na sua matriz energética. Esses países pesquisam tecnologias de Conversores de Energia Hidrocínética – CEH, principalmente marinhos (energia de ondas e mares) e alguns em rios. Como toda atividade humana, essa tecnologia gera impactos ambientais, os quais dependem principalmente do tipo e arranjo das turbinas e das características do ambiente no qual serão implantadas (LAWS; EPPS, 2016a ; ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE - EPRI, 2011).

No Brasil, desde a década de 80, vários estudos e projetos-piloto vêm sendo realizados para fornecer energia elétrica mediante tecnologia hidrocínética a comunidades localizadas em regiões remotas. Essas experiências desdobraram-se em novos conceitos e métodos focados no aumento da escala de produção, estratégias para popularizar e disponibilizar a tecnologia, sendo que existem também projetos com vazão remanescente em usinas hidrelétricas (ELS; BRASIL, 2015).

A energia elétrica é considerada um vetor de desenvolvimento estratégico em várias políticas e programas. No Plano Amazônia Sustentável – PAS, as orientações estratégicas para a região são facilitar soluções ajustadas às distintas realidades, respeitando potencialidades e condições limitantes, atendendo a demanda social em nível local. Além de incentivar estudos e pesquisas sobre fontes alternativas de energia, principalmente as renováveis (BRASIL, 2008). Dado que esse plano é estratégico e não operacional, não possui um período de vigência, foi lançado em maio de 2008 e se articula com planos operacionais

sub-regionais. Seu objetivo é dar diretrizes estratégicas para o desenvolvimento sustentável da Amazonia brasileira.

O Brasil, já teve, hoje extintos, programas do governo federal formulados para levar energia elétrica à área rural, como o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM) e o Programa Nacional de Eletrificação Rural - Programa Luz no Campo. Atualmente existem o Programa Luz para Todos e o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica na Amazônia legal – Mais Luz para a Amazônia.

O PRODEEM foi criado em 1994 e terminou em 2002. Visava aumentar o acesso à energia elétrica no país, principalmente em comunidades isoladas e a partir de fontes de energia renovável com foco em escolas, instalações relacionadas a saúde, espaços da comunidade e bombas de água para abastecimento. A eletrificação era isolada (*off-grid*) usando painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, sistemas híbridos, hidrelétricas, tecnologias de biomassa e geradores com combustíveis fósseis (VIEIRA; PEDROZO, 2015). O Luz no Campo foi criado em 1999 e terminou em 2003, visou a melhoria das condições socioeconômicas dos consumidores localizados em áreas rurais em articulação com os demais programas do governo. Focava na expansão da rede elétrica, sendo que os consumidores pagavam uma taxa de conexão financiada em longo prazo (VIEIRA; PEDROZO, 2015).

O Luz para Todos foi criado em 2003, com vigência até 2022 após várias prorrogações mediante decretos realizadas em 2010, 2011, 2014 e 2018. Essas prorrogações se justificam na situação vivida por comunidades que ainda permanecem sem energia elétrica por estar localizadas em áreas de difícil acesso (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2018 ; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2020). De forma complementar, em fevereiro de 2020 foi instituído o Mais luz na Amazônia mediante o Decreto 10221⁴ para dar atendimento do serviço de energia elétrica nas regiões remotas da Amazônia Legal a 350 mil pessoas com 82 mil ligações (BRASIL, 2020). O programa começou suas atividades no estado do Pará mediante a implantação de sistemas isolados com energia solar fotovoltaica.

Para localidades remotas, os sistemas híbridos são mais viáveis econômica e tecnicamente quando comparados com extensão de rede ou geradores a diesel. O tipo de tecnologia a ser utilizada depende da demanda e das características socioeconômicas da

⁴ Os beneficiários são as famílias e unidades de apoio socioeconômico situados em regiões remotas sem acesso ao serviço, regiões remotas com geração de fonte de energia não renovável.

região a ser atendida (RODRIGUES, 2006). A energia elétrica é importante porque ajuda a fornecer serviços sociais básicos como abastecimento e purificação de água, saneamento, refrigeração de medicamentos essenciais, geração de renda pelo uso de máquinas elétricas e facilidade em processos educativos, entre outros (VAN ELS; DE SOUZA VIANNA; BRASIL, 2012).

Os padrões de consumo se propagam paulatinamente da área urbana para a rural mediante o contato e movimento das populações de um lugar para outro. Assim, quanto maior o contato e a renda disponível, maior o processo de adoção de novos costumes e referências socioculturais, levando em curto espaço de tempo a um maior consumo de energia (RODRIGUES, 2006). Pesquisa realizada em 2014, indicou que o consumo médio de energia elétrica em famílias rurais na Amazônia é 60 kWh / mês, sendo considerado suficiente para fornecer serviços básicos de energia (FUSO NERINI et al., 2014).

No Brasil existe um planejamento energético que ocorreu historicamente de forma centralizada tendo como maiores resultados o fomento da expansão dos parques hidrelétricos e termoeletrônicos, e nos últimos anos a instalação de sistemas com energias renováveis notadamente eólica e solar. Por esse motivo surgiram experiências de planejamento estratégico descentralizado com a criação de planos comunitários de energia, de forma a propiciar autossuficiência e gestão eficiente dos recursos locais com menos impactos sociais e ambientais e maior participação da população, contudo ainda são poucos os casos de aplicação (COLLAÇO; BERMAN, 2017).

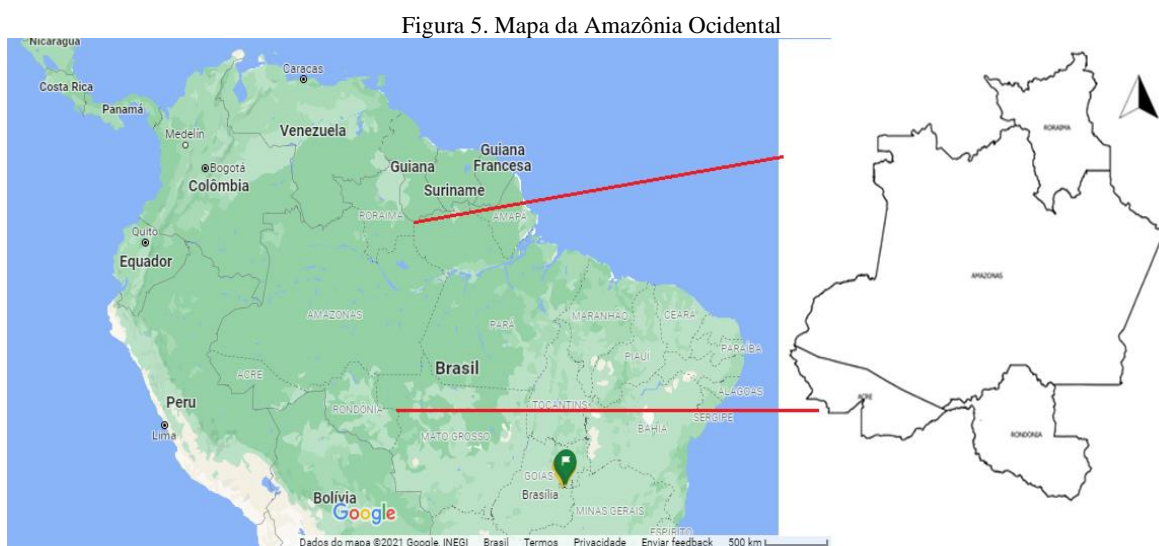
2.3. AMAZÔNIA OCIDENTAL E SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA - AM

A Amazônia Ocidental é uma região estratégica para o Brasil e para o mundo, com uma importante área de floresta e comunidades tradicionais. No estado do Amazonas se localiza São Gabriel da Cachoeira, o município com maior porcentagem de população indígena do país. É uma área de grande riqueza social e natural, um contingente populacional em condição de pobreza e sem a infraestrutura suficiente que garanta sua reprodução e desenvolvimento.

2.3.1. Amazônia Ocidental

Essa região possui 42,97% da extensão territorial da Amazônia Legal e cerca de 57% das florestas da região, sendo a parte mais preservada da Amazônia. Espécies de interesse

de produção florestal não madeireira são a borracha natural, a castanha, o guaraná, o açaí e o cupuaçu. Os recursos minerais também são abundantes e comportam grandes reservas de óleo e gás de petróleo, cassiterita, calcário, silvinita, caulim, argila, nióbio, tântalo e agregados para construção civil (brita, areia e granito, entre outros) (SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS -SUFRAMA, 2020). Na Figura 5 é apresentado o mapa da Amazônia Ocidental, no qual é possível ver que o maior estado desse conjunto é o Amazonas com 1.571.000 km² (MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO, 2009).



Fonte: google Earth (2021) e elaboração própria com base em dados do IBGE (2010)

2.3.1.1. Aspectos socioeconômicos da Amazônia Ocidental

O termo comunidades tradicionais é totalmente dinâmico e abrangente, inclui grupos multiculturais e pluriétnicos com características de pertencimento, identidade e autorreconhecimento em relação a um grupo social. Igualmente é mencionado que o termo inclui três elementos importantes a saber: regime de propriedade comum, sentido de pertencimento e memória coletiva de ocupação de um território. Em termos de política pública, as comunidades tradicionais requerem ações estratégicas diferenciadas por parte do governo que considerem a biodiversidade e sociodiversidade, de regiões tão complexas como a amazônica (ROCHA, 2014).

Segundo o estado brasileiro (inciso I Art. 3º Decreto 6.040 / 2007) "Povos e comunidades tradicionais são grupos culturalmente diferenciados e que se reconhecem como tais, que possuem formas próprias de organização social, que ocupam e usam territórios e

recursos naturais como condição para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica, utilizando conhecimentos, inovações e práticas gerados e transmitidos pela tradição" (BRASIL, 2007).

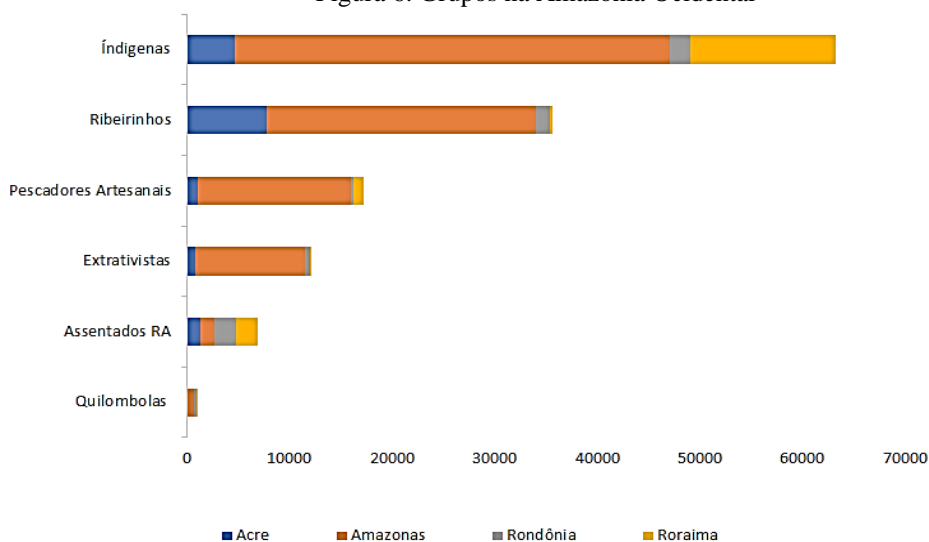
O fluxo migratório histórico para esta região de populações vindas de outras regiões brasileiras, concentra-se principalmente nos estados de Rondônia e Acre, cujas dinâmicas de desflorestamento são relacionadas com o uso do território para a pecuária, exploração da madeira e da agricultura extensiva. A infraestrutura de atendimento de eletricidade acompanhou a expansão da malha rodoviária, e, o forte impacto sobre a mudança de uso do território (DI LASCIO; BARRETO, 2009).

Conforme dados do governo estadual dos quatro estados e estimativas de população para 2020 do IBGE o número de habitantes na zona rural, no Amazonas é de 870.365 habitantes. Para o Acre é de 245.085. Em Rondônia é de 415.342 e para Roraima de 147.696 habitantes.

Registros das populações de todo o país encontram-se no Cadastro Único Nacional, base de dados que inclui pessoas em situação de pobreza e pobreza extrema e que podem ser beneficiárias de bolsas do governo federal como Bolsa Família e Bolsa Verde; e programas como Minha Casa Minha Vida, Programa de Erradicação do Trabalho Infantil – PETI, Programa de Fomento as Atividades Produtivas Rurais, Carteira de Idoso, Aposentadoria para Pessoa de Baixa Renda, Brasil Carinhoso, Programa de Cisternas, Telefone Popular, Carta Social, Pro Jovem Adolescente, Tarifa Social de Energia Elétrica, Passe Livre para Pessoas com Deficiência, Isenção de Taxas em Concursos públicos, e atualmente o Auxílio Emergencial devido ao coronavírus – COVID-19 (MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL - MDS, 2020).

Esta base de dados, além do Censo realizado em 2010, em uma das mais completas e atualizadas com informações da população mais pobre do país em todo o território nacional. Assim, mostra que, na Amazônia Ocidental, a maior quantidade de população cadastrada é a indígena com 63.780 famílias, depois a ribeirinha com 35.592, terceiro os pescadores artesanais com 17.203, quarto a extrativista com 12.020 e por último a assentada e quilombola com menos de 5.000 famílias (Figura 6).

Figura 6. Grupos na Amazônia Ocidental



	Quilombolas	Assentados RA	Extrativistas	Pescadores Artesanais	Ribeirinhos	Índigenas
Total	947	6867	12020	17203	35592	63280
■ Roraima	7	2094	87	1036	213	14275
■ Rondônia	322	2094	462	242	1384	1980
■ Amazonas	614	1350	10696	14830	26188	42431
■ Acre	4	1329	775	1095	7807	4594

Fonte: elaboração própria com base nos dados do (MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL - MDS, 2020).

Relacionando os dados de população rural com população do Cadastro Único é possível identificar que a população tradicional cadastrada representa 55,5 % no Amazonas, 29,1 % no Acre, 7,7 % em Rondônia e 54,6 % em Roraima. Cabe ressaltar que conforme o Ministério de Desenvolvimento Social as famílias cadastradas que vivem com menos de meio salário-mínimo por estado são: Acre 88 %, Amazonas 83 %, Rondônia 68% e Roraima 83% (MINISTÉRIO DA CIDADANIA, 2020). O salário em 2021 é de R\$1045,00, ou seja, essas famílias geralmente, compostas por cinco pessoas, vivem com menos de R\$522,5 por mês. Sendo que em média 49 % das famílias vivem com menos de R\$89,00 por mês, é dizer, R\$2,88 por dia, indicando um alto nível de pobreza.

As atividades econômicas dos quatro estados se baseiam na extração animal e vegetal de produtos como açaí, cupuaçu, dendê e peixes ornamentais e para alimentação, além de extração madeireira, plantas medicinais e de uso cosmético, palmito de pupunha⁵ e plantação de mandioca e guaraná e mineração (SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS -SUFRAMA, 2020). Na Tabela 2 são apresentadas informações socioeconômicas oficiais dos estados, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia

⁵ Nome científico da pupunha: *Bactris gasipaes*.

e Estatística e de outras instituições para 2010 e 2018. Amazonas é o estado com maior população, área e domicílios sem energia elétrica, com maior densidade populacional, IDH e renda per capita são Rondônia e Acre. A população rural representa 20,91 % no Amazonas; 23,4 % em Roraima; 26,45 % em Rondônia e 27,4 % no Acre.

Tabela 2. Características socioeconômicas da AO

Estado	População Total (hab)**	Densidade (hab/km ²)**	Área (km ²)	Renda per capita (R\$) *	IDH*	Domicílios sem Energia elétrica *
Acre	869.265	5,29	164.123,74	522,15	0,663	58.794
Amazonas	4.144.597	2,65	1.559.148,89	539,80	0,674	256.558
Rondônia	1.757.589	7,39	237.590,54	778,58	0,690	39.744
Roraima	576.568	2,57	224.303,19	605,59	0,707	41.185

Fonte: elaboração própria a partir de dados do (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2010); (PNUD; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO; INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2013); (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2020).

Nota: * ano 2010; ** ano 2018; hab: habitantes

A situação sobre saneamento ambiental (abastecimento de água e coleta de lixo) na AO, para os domicílios particulares permanentes da área rural sem energia elétrica é apresentada nas Tabelas 3 e 4. Na Tabela 3 é possível ver que em 62,23 % dos domicílios é utilizada como fonte de abastecimento água que provém de rio, açude, lago ou igarapé. A outra fonte de abastecimento é o poço ou a nascente com 30,85 %. Por tanto a água consumida não possui nenhum tipo de tratamento.

Tabela 3. Abastecimento de água para os domicílios sem energia elétrica na AO

	Rede geral	Poço ou nascente	Carro-pipa	Água da chuva armazenada	Rio, açude, lago ou igarapé	Poço ou nascente	Outra
RO	63	10635	53	5	1081	35	70
AC	98	5015	6	49	6234	295	226
AM	362	5209	5	1876	40026	674	688
RR	564	4267	1	18	3344	451	95
Total	1087	25126	65	1948	50685	1455	1079
%	1,33	30,85	0,080	2,39	62,23	1,79	1,33

Fonte: elaboração própria a partir de dados do (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2010)

Na Tabela 4, observa-se que em 79,04 % dos domicílios o lixo é queimado e em 11,60 % é jogado no terreno. Essa prática também representa um risco para a saúde dada a presença de produtos contaminantes como pilhas, plástico, entre outros. Esses resíduos podem contaminar as fontes de abastecimento da população.

Tabela 4. Disposição do lixo na AO

	Coletado	Queimado	Enterrado	Jogado	Outro destino
RO	90	10419	693	0	304
AC	73	7943	232	3127	548
AM	183	40029	1831	5382	1415
RR	17	5636	497	884	1706
Total	363	64027	3253	9393	3973
%	0,45	79,04	4,02	11,60	4,90

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2010)

Vinculando saneamento à saúde, um estudo determinou a existência de problemas gastrointestinais frequentes em ribeirinhos. Indicou que as condições precárias de saneamento e o consumo de água imprópria diretamente dos rios e lagos, gera doenças de veiculação hídrica, tais como as enteroparasitoses (GAMA et al., 2018). Essa situação se repete também com os grupos de extrativistas, quilombolas, assentados e indígenas ao longo do território (GOMES et al., 2016); (BERNARDES; COSTA; BERNARDES, 2018); (LEAL et al., 2014); (LIMA; PEREIRA; LIMA, 2017).

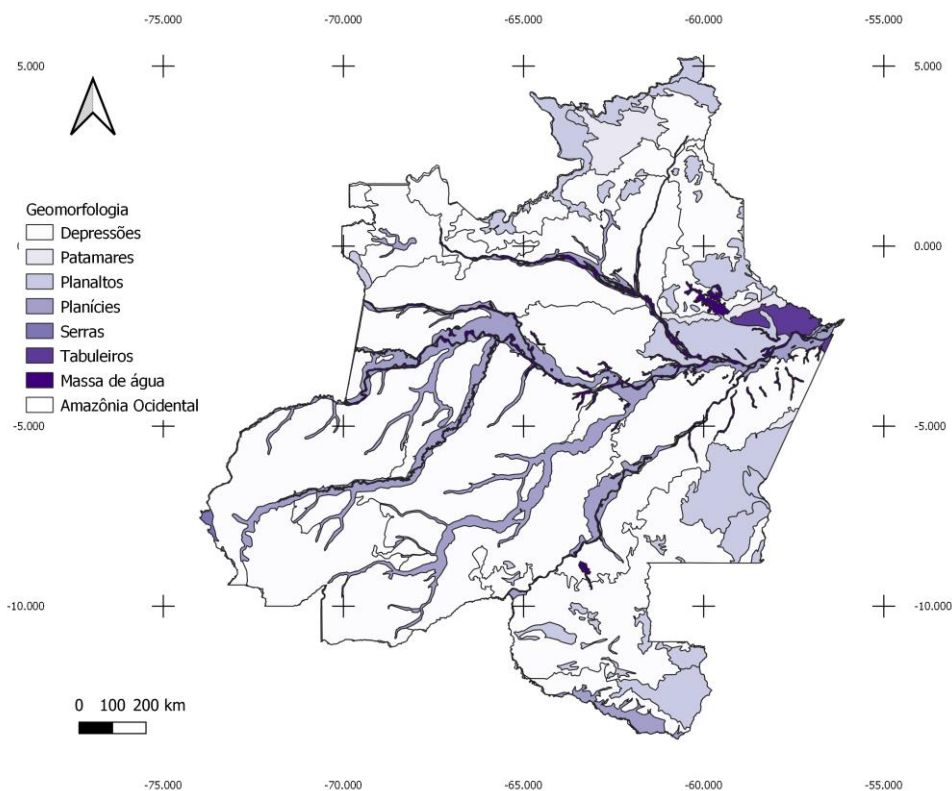
Os dados apresentados nestas tabelas indicam a falta de infraestrutura básica e sua relação com problemas de saúde, contaminação dos corpos hídricos e êxodo dos habitantes para as cidades para ter acesso a serviços públicos e melhores condições de vida. Uma situação que se repete em populações rurais de todo o país.

2.3.1.2. Aspectos biofísicos da Amazônia Ocidental

De forma geral o relevo amazônico não apresenta altitudes acima de 200 metros, a Amazônia Ocidental situa-se em uma grande planície, com exceção das terras altas do extremo norte do Amazonas, Roraima e extremo sul de Rondônia. Na fronteira do Brasil com a Venezuela, encontra-se o ponto mais alto, o Pico da Neblina, com 3.014 metros na Serra do Imeri. As principais unidades de relevo amazônicas são: Planície de Inundação (várzeas) periodicamente inundadas; terraços pleistocênicos. Planalto Amazônico com altitudes máximas de 200 m, depressão que possui uma superfície com altitude de 100 a 300

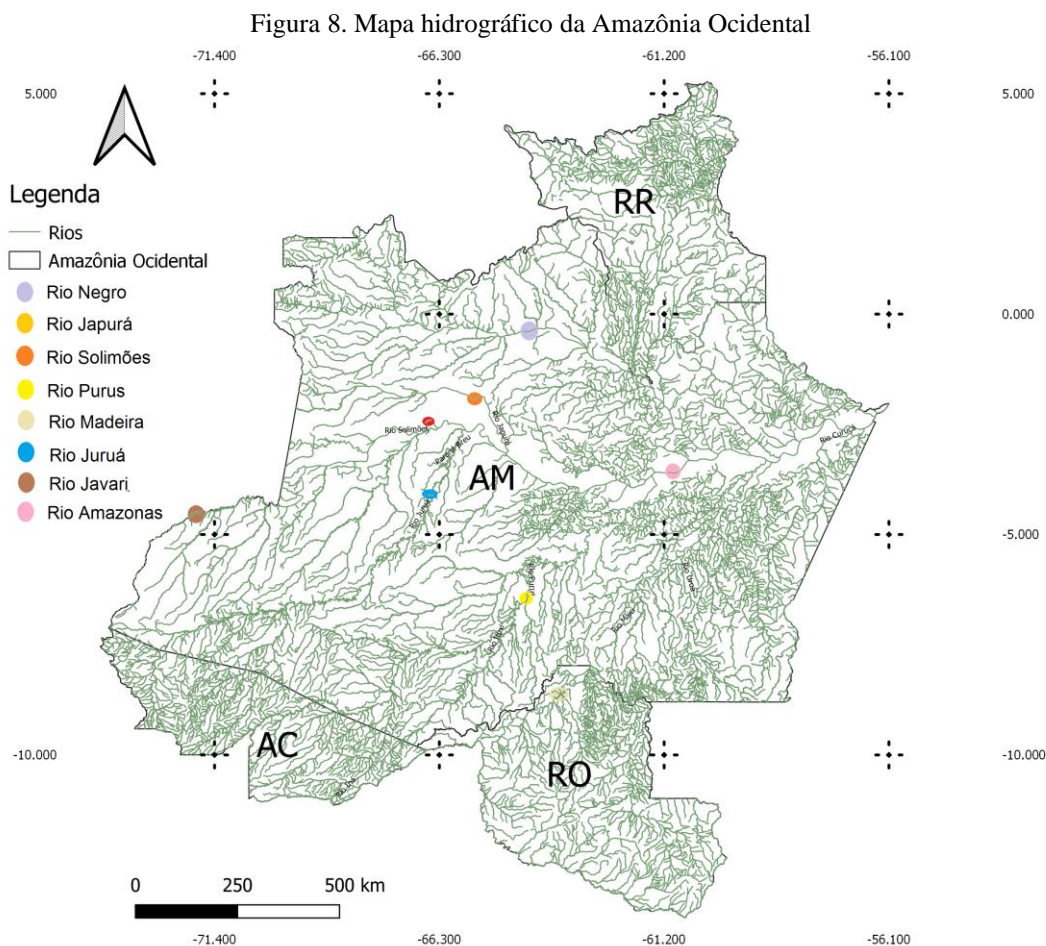
metros e pouca inclinação. Nos quatro estados dominam os planaltos e as depressões ocupando quase 90 % do território (Figura 7) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2015).

Figura 7. Mapa Geomorfológico da Amazônia Ocidental



Fonte: elaboração própria com base em dados do IBGE

A Amazônia Ocidental encontra-se na Bacia Hidrográfica Amazônica, com uma área de drenagem superior a 6.000.000 km² que abrange sete estados (Acre, Amazonas, Rondônia, Roraima, Amapá, Pará e Mato Grosso). Está composta principalmente por rios transfronteiriços como são: Solimões, Purus, Juruá e Javari que nascem no Peru, Negro e Japurá que nascem na Colômbia e Madeira que nasce na Bolívia (Figura 8) (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2010). Dentre os principais e maiores cursos de água, tributários do rio Amazonas, encontram-se, pela margem direita, os rios Javari, Juruá, Jutai, Purús, Madeira, Tapajós e Xingu e, pela margem esquerda, os rios Iça, Japurá, Negro, Uatumã, Nhamundá, Trombetas e Jari (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2006).

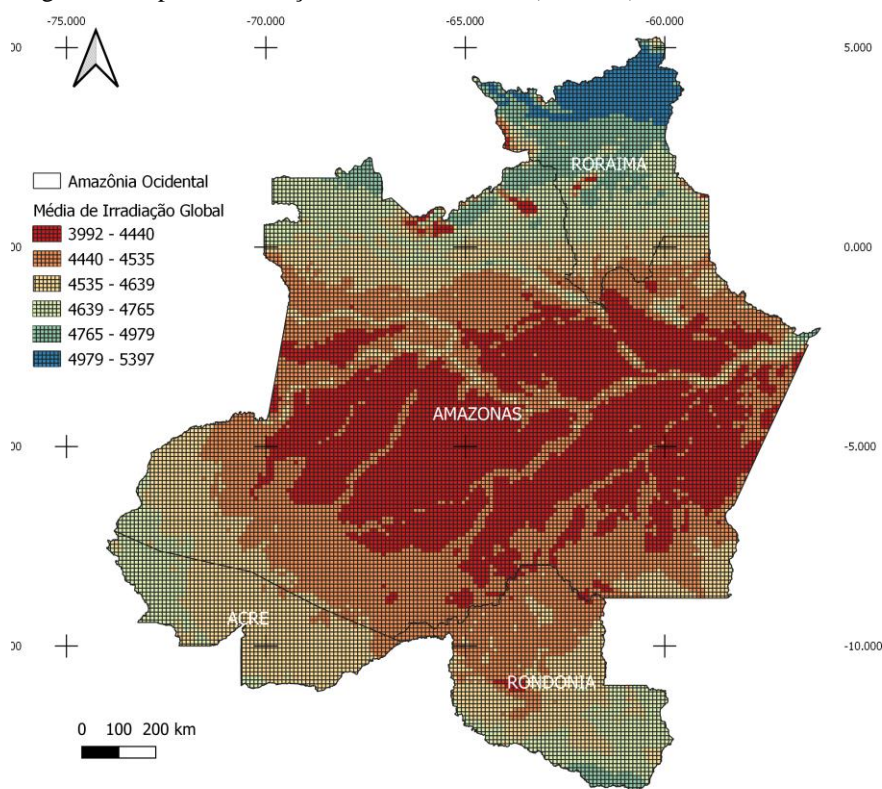


Fonte: elaboração própria com base em dados do IBGE e da ANA

De forma geral, o clima da região Amazônica é classificado como variando de úmido a superúmido. Apresenta várias localidades com alta precipitação, com valor máximo de 3.295mm/ano, como são Iauaretê, Codajás e São Gabriel da Cachoeira no Amazonas. Já as de menores precipitações, com média de 2.000mm/ano, são Uiramutã e Boa Vista em Roraima, Ouro Preto D'Oeste em Rondônia e Rio Branco no Acre. A temperatura média do ar varia entre 24,4 °C e 28 °C, as localidades com maiores valores são Boa Vista e Caracará em Roraima e Parintins no Amazonas. Os menores valores estão em Ouro Preto d'Oeste e Porto Velho em Rondônia, Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul no Acre. A média anual de temperatura para 2016 foi de 26,7 °C, a média das máximas 34,4 °C e a média das mínimas 23,1 °C (LIBERATO; BRITO, 2010 ; EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 2017 ; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2006).

A irradiação global horizontal, conforme a Figura 9, para o período de 2018 foi de 3.992 a 5397 kWh/m², sendo que o estado com maior irradiação é Roraima e uma pequena parte do Amazonas.

Figura 9. Mapa de Irradiação Global horizontal (kWh/m²) da Amazônia Ocidental



Fonte: elaboração própria a partir de dados do (ESMAP, 2021)

Na floresta tropical amazônica, destacam-se as matas de terra firme, florestas inundadas, várzeas, igapós, campos abertos e cerrados, devido a características específicas da região. As áreas de cerrado e outras variações como as campinas e campinaranas encontram-se de forma esparsa. Os cerrados possuem particularidade espacial dada a sua ocorrência nas regiões norte/nordeste de Roraima. A mata de terra firme se encontra em regiões mais altas e não são inundadas pelos rios, as árvores são de grande e médio porte variando entre 30 a 60 metros. As matas de várzea sofrem de inundação em um curto período durante o ano, sendo que nas regiões planas a vegetação fica coberta por água. As matas de igapó se encontram em terrenos baixos e passam a maior parte do tempo inundadas e nela se localizam arbustos, cipós, musgos e a vitória-régia (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2006).

2.3.2. São Gabriel da Cachoeira – Amazonas

O município faz parte do Alto Rio Negro, no qual se encontram oito terras indígenas em três municípios amazonenses a saber: São Gabriel da Cachoeira, Japurá e Santa Isabel do Rio Negro. A maior parte da região é conformada por terras da união representadas por

Terras Indígenas e um Parque Nacional. A população indígena constitui 90 % da população, contudo há presença de pessoas de outras regiões do país. Existe uma divisão entre católicos e evangélicos e perda da cultura indígena devido ao estabelecimento de missões dessas duas religiões (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, 2019).

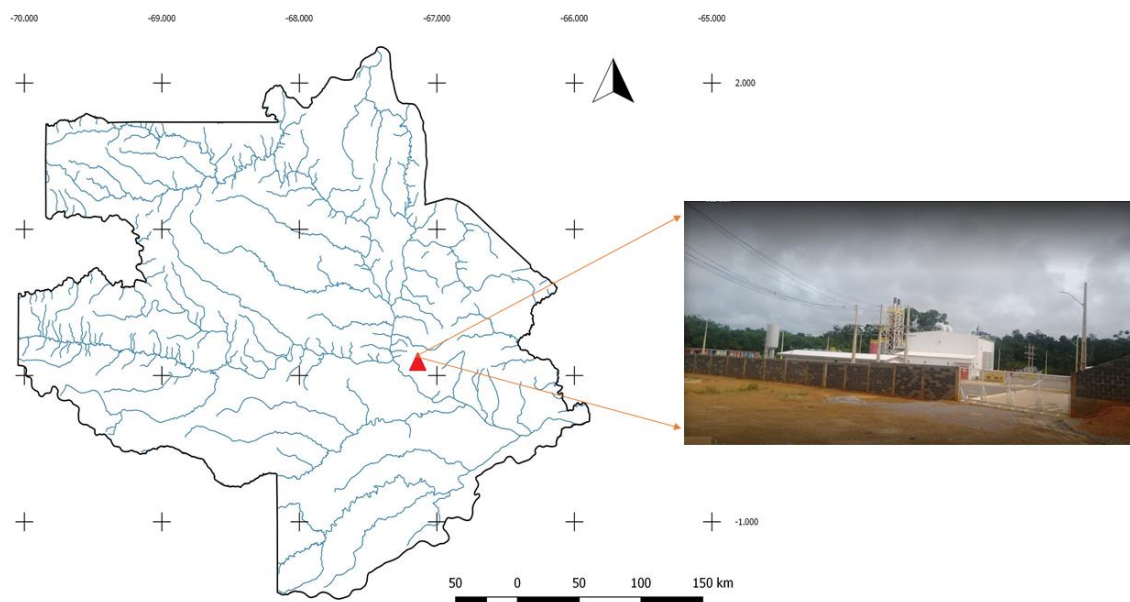
São Gabriel conta com área de 109.181,24 km² e uma população de 45.564 habitantes segundo estimativas do IBGE em 2019. O IDH é de 0,609 considerado como baixo quando comparado com o IDH nacional que é de 0,765, cerca de 80 % do território corresponde a terras indígenas demarcadas e regularizadas. A taxa de crescimento populacional do município é de cerca de 2,95 % ao ano (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA- IBGE, 2011 ; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA- IBGE, 2020).

A maior parte dos habitantes é constituída por várias etnias que se distribuem segundo os rios da região. Dessa forma se encontram as do rio Uaupés: Arapasa, Barasana, Desana, Karapanã, Kubeo, Makuna, Miriti-tapuya, Pira-tapuya, Siriano, Tariana, Tukano e Tuyuka. Do rio Içana a etnia Baniwa e Coripaco; as etnias Hupda e Nadob do Maku; as etnias Wekena e Baré do rio Xiu (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, 2019). Na área rural, segundo o censo de 2010, a população sem acesso a eletrificação é de 18.842 moradores que equivale a 40% da população do município (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA- IBGE, 2010).

As atividades produtivas no município são culturas como feijão, mandioca, abacaxi, cupuaçu, mamão, banana, maracujá, melancia, couve, alface, cebolinha e coentro. E criação em bovinocultura, suinocultura, ovinocultura, caprinocultura, avicultura de corte, avicultura caipira, avicultura de postura e piscicultura. Sendo que as mais importantes em termos de geração de renda e ocupação são a mandioca e pesca artesanal (IDAM, 2021). Durante a visita de campo em 2018 foi possível verificar que as comunidades comercializam pimenta, produtos à base de mandioca, frutas, verduras e peixes no mercado municipal e artesanatos na loja indígena “Arte Wariró”. Comunidades em áreas remotas possuem sistemas próprios de energia fotovoltaica ou geradores de óleo diesel que usam de forma intermitente durante a noite ou em épocas especiais, segundo depoimento de alguns moradores da região.

O município possui vários corpos hídricos como igarapés e rios, sendo um dos principais o rio Negro, na Figura 10 é possível ver a grande riqueza hídrica do local. Igualmente é possível identificar a localização da usina termelétrica da Eletrobrás que atende a sede municipal.

Figura 10. Mapa de São Gabriel da Cachoeira com rios e termelétrica.



Elaboração própria a partir de dados do IBGE e da ANA.

Segundo dados da base histórica do INMET e informações de Nobre, Obregon e Marengo (2009) o clima da região é classificado como tropical úmido, com pluviosidade média de $3.500 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$, temperatura média anual variando de $24 \text{ }^\circ\text{C}$ a $32 \text{ }^\circ\text{C}$ e vegetação predominantemente de floresta tropical. Existem duas estações bem definidas, o verão, que vai de junho a novembro, considerados como os meses mais quentes e secos, com temperaturas de $38 \text{ }^\circ\text{C}$. O inverno inclui os meses de dezembro a maio, onde a temperatura continua alta, mas com chuvas constantes.

O rio Negro nasce com o nome de Guainía na Colômbia na altitude de 1.660 metros, sua extensão total é de aproximadamente 1.700 km. Quando entra no Brasil recebe o nome de Rio Negro e posteriormente desagua no Rio Amazonas em frente à cidade de Manaus. Como características encontram-se profundidade média de 20 a 30 m; pH de 3,8 a 4,9; os sedimentos de fundo são argila solta de cor creme, areia e pedras; a amplitude do rio vai de 3 a 30 km; e sua temperatura média é de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ com velocidade da corrente de $0,01 \text{ m/s}$ (FRANZINELLI, 2011).



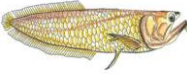


No rio são importantes a presença de aves aquáticas e peixes porque, quando se fala de geração de energia elétrica a partir de uma fonte hídrica são, entre outros os fatores ambientais os mais impactados. Dado que nesta pesquisa se analisa a tecnologia hidrocínética para São Gabriel, se considerou relevante realizar uma breve descrição dos peixes.











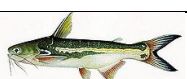
No município são encontrados basicamente dois tipos de peixes, os de escamas e os lisos. Os primeiros são pescada (*Plagioscion squamosissimus*), aracu (*Leporinus friderici*), pacu (*Mylossoma spp.*, *Myleus spp.*, *Metynnis spp.*, *Myloplus spp.*), matrinchã (*Brycon sp.*), jaraqui (*Semaprochilodus sp.*), traíra (*Hoplias sp.*), acará ou cará (*Astronotus ocellatus*), tucunaré (*Cichla sp.*), jacundá (*Crenicichla sp.*) e piranha (*Serrasalmus rhombeus*). Os segundos são piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum*), pirarara (*Phractocephalus hemiliopterus*), surubim (*Pseu-doplatystoma fasciatum*), jandiá (Família *Heptapteridae*), mandi (*Pimelodus maculatus*), mandubé (*Ageneiosus brevifilis.*), anujá (*Trachycorystes galeatus*) e carauataí (*Auchenipterichthys longimanus*) (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, 2012).

A região é conhecida pela diversidade de espécies, mas pouco número de indivíduos devido às características do rio Negro (águas extremamente ácidas e pobres em nutrientes). A pobreza de nutrientes influencia na vida aquática, assim os peixes obtêm sua alimentação, geralmente, de matéria orgânica das margens do rio como insetos, frutas, flores, folhas e sementes (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, 2019). Como apresentado no Quadro 1 várias espécies vivem nas beiras dos rios a diversos níveis de profundidade, os tamanhos vão de 15cm a 1,5m indicando sua diversidade.

Durante a visita de campo foi verificado que esses peixes são usados para subsistência das comunidades e com fins comerciais, com venda na sede urbana. É importante mencionar que os habitantes da cidade consideram que o número de peixes, em termos de indivíduos, tem diminuído muito ao longo dos últimos anos.

Quadro 1. Peixes do Rio Negro

Descrição	Peixe – imagem
Tucunaré: mede de 30 cm a 1 m, sedentários, não realizam migrações. Se reproduzem em ambientes lânticos, constroem ninhos e cuidam da prole. Hábitos diurnos, alimentam-se principalmente de peixes e camarões. Tem valor comercial.	
Acará-Açu: mede de 35 a 40 cm. Come pequenos peixes, insetos, crustáceos e frutos/sementes. Formam casais na época da reprodução e protegem a prole. Os adultos são muito apreciados como alimento e os alevinos como peixe ornamental.	
Aruanã: pode medir até 1m, vive na beira dos lagos, igapós ou dos capins aquáticos. Se alimenta de insetos e aranhas que caem na água. Se reproduz durante a enchente, tem valor comercial.	
Pescada: mede até 50 cm. Vive no fundo e meia água, sedentárias, que formam grandes cardumes na porção central de lagos, lagoas e reservatórios. Alimentam-se de peixes e camarões. Valor comercial.	
Pacu: mede de 15 a 30 cm, herbívoras, se alimentam de material vegetal e algas. São encontrados em rios, lagos, floresta inundada, pedras e corredeiras. Forma cardumes e desce os rios para desovar. São importantes na pesca de subsistência e possuem valor comercial.	

Descrição	Peixe – imagem
Jacundá: mede até 40 cm, habita rios, remansos de rio, lagoas e represas, próximos à estruturas como paus, pedras, entre outras. Alimenta-se de pequenos peixes, camarões e outros invertebrados.	
Matrinchã: mede até 80 cm, alimenta-se de frutos, sementes, flores, insetos e, ocasionalmente, de pequenos peixes (inclusive da própria espécie). Faz longas migrações rio acima para se reproduzir.	
Jaraqui: mede até 35cm, alimenta-se principalmente de detritos e plantas superiores. Realiza migrações de grandes distâncias em enormes cardumes de acordo com a época do ano.	
Piraíba: mede até 2 m, fica em lugares profundos, poços ou remansos, saídas de corredeiras e confluência dos grandes rios. Não tem muito valor comercial.	
Pirarara: mede até 1,50 m, encontra-se no canal dos rios, poços após as corredeiras, várzeas e igapós, nos tributários de águas pretas e claras. Alimenta-se de peixes, frutos e caranguejos.	
Surubim: mede até 1,80 m, encontra-se em matas inundadas, lagos, canal dos rios, praias e ilhas de plantas aquáticas. São piscívoros, realizam migrações de desova rio acima durante a seca ou início das chuvas. Valor comercial e esportiva.	
Piranha: mede até 40 cm, ocorre em rios de águas claras e pretas e os indivíduos são solitários. Espécie carnívora, alimenta-se de peixes e invertebrados.	
Mandi: mede até 40 cm, habita remansos das margens dos rios, locais com areia e cascalho no fundo. Peixe omnívoro, alimentando-se de larvas bentônicas de insetos, algas, moluscos, peixes e fragmentos de vegetais.	
Mandube: mede até 50 cm, habita o fundo dos leitos de rios de médio e grande portes, com águas escuras e barrentas e remansos entre as corredeiras. Tem o hábito noturno. Sua reprodução costuma acontecer no período das cheias.	
Anujá: mede até 22 cm, espécie onívora, alimenta-se de frutos, sementes e invertebrados. Possui hábito noturno e sedentário, sobrevive em ambientes com baixas concentrações de oxigênio.	
Carauataí: mede até 22,8 cm. ocorre em margens dos lagos e floresta inundada. Hábito carnívoro com tendência à insetivoria.	

Fonte: elaborado a partir de (S.D, 2020); (CPT, 2020); (SOUSA et al., 2016); visita de campo.

As aves aquáticas dos rios amazônicos possuem diversos tamanhos de corpo e relações com o ecossistema. Pertencem às famílias Phalacrocoracidae (biguás), Anhingidae (mergulhões), Ardeidae (garças e socós), Threskiornithidae (curicacas), Ciconiidae (cegonhas), Anhimidae (tachãs), Anatidae (patos), Aramidae (carão), rallidae (saracuras e frangos-d'água), Jacanidae (jaçanãs), Heliornithidae (paturis), Eurypygidae (pavãozinho-do-pará), Charadriidae (batuíras), scolopacidae (maçaricos), Laridae (gaiivotas), rynchopidae (corta-águas), Opisthocomidae (cigana), e Alcedinidae (martins-pescadores). No rio Negro se encontram espécies como o tuim-santo (*Forpus passerinus*) e maria-sebinha (*Hemitriccus minor*) (COHN-HAFT; NAKA; FERNANDES, 2007).

2.4. CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA DAS COMUNIDADES AMAZÔNICAS

As comunidades amazônicas estão conformadas por grupos sociais que inclui indígenas, quilombolas, extrativistas, ribeirinhos e assentados com manifestações socioculturais diversas de trabalho, educação, religião, lendas, hábitos alimentares e familiares. O governo federal vem estipulando políticas socioeconômicas de educação, geração de renda, serviços previdenciários, saúde, saneamento e acesso à energia elétrica, não obstante o número de beneficiados dessas políticas e os alcances das mesmas não são publicadas (GAMA et al., 2018 ; SCHERER, 2004 ; FERREIRA; FERREIRA, 2012).

Para as comunidades, a relação entre o rural e urbano é complexa, as áreas urbanas são uma parte integrante da expansão das áreas rurais e vice-versa. Nesse sistema circulam mercadorias, emprego e serviços públicos. A reprodução dos modos de vida é assegurada por meio da história oral, que transmite de geração a geração as técnicas de manejo dos recursos naturais, as lendas, os ritos, o modo de construção das habitações e outros costumes. As populações possuem um vasto conhecimento das várzeas, dos rios e floresta, coleta de alimentos, fibras, tinturas, resinas, ervas medicinais, bem como materiais de construção (AMARAL et al., 2013 ; GAMA et al., 2018 ; SCHERER, 2004).

Comunidades organizadas e bem estruturadas em áreas rurais podem ser consideradas um estágio de evolução na formação de cidades. Algumas comunidades rurais possuem a estrutura, a forma e as funções urbanas em escala local, constituindo as bases de uma rede urbana incipiente. As relações de dependência das áreas rurais com as urbanas são estabelecidas, principalmente, pela oferta de saúde e educação (AMARAL et al., 2013); (INPE, 2009). O grau de parentesco ajuda na organização social e hábitos de trabalho coletivo como farinhada, mutirões de limpeza, produção agrícola e artesanato (JUNIOR et al., 2019 ; ELOY; LASMAR, 2011).

Para as comunidades próximas aos rios, o cotidiano está influenciado pelas dinâmicas das águas que impõem restrições de ordem multidimensional, que inclui dois grandes ecossistemas: as terras de várzeas, que são as áreas baixas nas beiras dos rios, que sofrem inundações durante o período de enchente e consideram-se ambientes muito produtivos. E as terras firmes que são as áreas relativamente altas que não estão sujeitas às inundações sazonais, tem baixa fertilidade natural dos solos, são bem drenados e com baixa concentração de recursos proteicos (GAMA et al., 2018 ; SCHERER, 2004 ; FRAXE; PEREIRA;

WITKOSKI, 2007 ; NETO; FURTADO, 2015). Os equipamentos de trabalho utilizados são rudimentares, com intenso uso de força física pela limitada oferta de recursos de energia motora ou elétrica (RUZANY et al., 2012 ; SANTOS; SALGADO; PIMENTEL, 2012 ; LIRA; CHAVES, 2016).

As fontes de renda das comunidades são o funcionalismo público, extrativismo de produtos florestais e não florestais, turismo, emprego doméstico, venda de produtos e benefícios do governo mediante programas de transferência de renda como Bolsa Família⁶, Bolsa Floresta⁷, Bolsa Escola⁸ e programas de aposentadoria. Várias comunidades estão inseridas em projetos produtivos e recebem um salário por essas atividades ou geram valor agregado a produtos da floresta. A renda a partir da pecuária acontece, principalmente, em comunidades de terra firme que possuem acesso por estrada. Em média a renda familiar mensal per capita vai de 1/3 do salário mínimo vigente a 2 salários mínimos, que para o ano de 2021 o salário é de R\$1.100,00 (INPE, 2009 ; RUZANY et al., 2012 ; SILVA, 2006 ; GAMA et al., 2018 ; JUNIOR et al., 2019 ; PORTO; PROENÇA, 2019 ; FREITAS et al., 2018 ; ARAÚJO et al., 2017 ; DAMACENO; ORTEGA; TURCI, 2019).

Nas áreas de várzea a vida social e econômica é regulada pela variação sazonal da elevação dos rios. A enchente dificulta as atividades de pesca, agricultura, lida com os animais, caça e o extrativismo que ficam comprometidos. O plantio agrícola começa na vazante depois de um período de quase 3 meses de terras alagadas pela cheia, a colheita de mandioca e seu preparo ocorre durante a enchente que acontece entre março e abril (SCHERER, 2004 ; RUZANY et al., 2012). O período da seca, que é de setembro a novembro, é de grande fartura do pescado porque fica aprisionado com a descida das águas. Sendo esse produto a fonte de maior renda monetária durante o período. Já durante a cheia existem dificuldades porque os peixes se dispersam, falta farinha e outros produtos agrícolas, contudo as frutas são abundantes nessa época (RUZANY et al., 2012).

Produtos para a subsistência das famílias incluem pratos que usam como base a mandioca (tucupi, tapioca, beiju e farinha de mandioca). Plantam e colhem mandioca, arroz, feijão, milho, banana, abacate, abacaxi, laranja, açaí, cacau, cupuaçu, bacuri, murici, pupunha, uxis, mamão, cará, pimenta, macaxeira, batata doce, chicória, alfava, pimenta, jerimum, melancia, castanha. Fontes de proteína provém da pesca e da caça, é uma prática

⁶ Transferência direta de renda para famílias em situação de pobreza e de extrema pobreza em todo o País.

⁷ Transferência direta de renda a populações tradicionais residentes nas Unidades de Conservação no estado do Amazonas.

⁸ Transferência de renda direta para que as famílias mantenham as crianças na escola.

comum para consumo próprio (tatu, paca, veado, catitu e porco de mato) e criação de animais como galinha caipira, patos e suínos. Em algumas comunidades há o comércio em pequena escala entre moradores locais quando há excedente de produtos (INPE, 2009 ; JUNIOR et al., 2019 ; PORTO; PROENÇA, 2019); ARAÚJO et al., 2017); ARAÚJO, 2014); DAMACENO; ORTEGA; TURCI, 2019).

O atendimento de saúde é realizado por agentes de saúde ou por tratamento alopático pela mesma população. Existem postos de saúde geralmente com atendimento de enfermeira e sem médico. Os problemas mais comuns são o excesso de peso, anemia, hipertensão e dores, diabetes, gastrite, alergia, problemas de visão e contaminação pelo uso de mercúrio mineração⁹, geralmente por garimpos clandestinos. Em crianças é frequente a desnutrição crônica, anemia e diarreia, sendo que essas doenças estão vinculadas à marginalidade socioeconômica e falta de infraestrutura que exerce influência sobre a morbidade e mortalidade. Prefeituras dos estados de Amazonas e Pará disponibilizam as ambulâncias¹⁰ e existe o barco da saúde e da previdência que fazem atendimentos nas comunidades (GAMA et al., 2018 ; INPE, 2009 ; SCHERER, 2004 ; JUNIOR et al., 2019 ; BASTOS, 2014 ; COIMBRA; SANTOS, 2001 ; ARAÚJO et al., 2017).

As redes de relações sociais entre parentes próximos ampliam as oportunidades econômicas, educativas e de atenção à saúde, em conjunto com o aumento da renda familiar. O acesso à zona urbana é limitado pelas condições financeiras e, sobretudo, pela distância, que pode superar 500 km, com deslocamento de vários dias, realizado somente por via fluvial. Motivos de migração parcial ou total nas comunidades é a continuação dos estudos para os jovens e oportunidades de trabalho (GAMA et al., 2018 ; ARAÚJO et al., 2017).

A infraestrutura disponível depende, geralmente, de projetos e programas sendo que o centro comunitário, as igrejas católicas e evangélicas são construídas pela população ou grupos religiosos. ONGs, como o Instituto Socioambiental – ISA, Fundação Amazônia Sustentável – FAS, *World Wide Fund for Nature* – WWF, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM, Fundação Vitória Amazônica, Instituto Mamirauá, etc, trabalham em projetos de geração de renda, saneamento e eletrificação em pequena escala, sendo que a ação do governo nesse sentido é ainda reduzida. Enquanto posto de saúde, escola municipal com ensino fundamental e com ensino médio são de responsabilidade do Estado. As

⁹ O Projeto Caruso, desenvolvido desde 1994 monitora os níveis de mercúrio na população ribeirinha do Baixo Tapajós, mediante coleta de sangue e de fios de cabelo para analisar o teor de mercúrio.

¹⁰ Lancha para serviços médicos de atendimento emergencial à população.

comunidades estão geralmente formadas por um centro comunitário, bomba d'água para distribuição, campo de futebol, cemitério, casa de forno, pequeno comércio e alguns domicílios concentrados. Outros podem estar dispersos em um raio de 2.000 metros ou seguindo as margens dos rios (BASTOS, 2014 ; ARAÚJO et al., 2017).

Os domicílios são de vários tipos de materiais, que incluem chão de terra, parede de barro ou taipa, alvenaria ou madeira. O número de pessoas por domicílio oscila de 4 a 6 e a população é marcadamente jovem com menores de 18 anos (FREITAS et al., 2018). A fonte de água para consumo provém do rio, igarapé, lago, açude ou de poço artesiano sem nenhum tipo de tratamento, com exceção de aplicação de hipoclorito ou coação da água. O cloro é distribuído gratuitamente por agentes comunitários das prefeituras. O saneamento básico é praticamente inexistente. Nenhuma comunidade tem coleta de esgoto, existem fossas secas ou sépticas, os restos de comida, são dispostos no quintal para alimentação dos animais como porcos, galinhas e patos. Embalagens de produtos industrializados são reutilizados, queimados, enterrados ou dispostos ao ar livre (RUZANY et al., 2012 ; INPE, 2009 ; (ARAÚJO, 2014 ; JUNIOR et al., 2019 ; PORTO; PROENÇA, 2019 ; ARAÚJO et al., 2017).

A educação do primeiro ciclo da educação fundamental é realizada dentro das comunidades. As escolas, estão conformadas por uma ou duas salas, uma pequena cozinha e uma dispensa para armazenar os produtos da merenda escolar e em ocasiões uma pequena biblioteca. As telhas são de fibrocimento, não existem banheiros, sanitários, nem área de atividade esportiva (INPE, 2009 ; RUZANY et al., 2012).

As escolas usualmente estão localizadas em comunidades com maior concentração demográfica. As crianças e adolescentes que vivem em agrupamentos menores devem deslocar-se em canoas ou *rabetas* para as comunidades maiores por duas horas ou mais para chegar. Na Amazonia as escolas adotam o calendário especial, programado para atividades na época de vazante e recesso na época de cheia para facilitar o acesso. Não existe perspectiva de educação depois da 5ª série e só jovens com familiares na cidade ou condições financeiras, conseguem ampliar seu nível de formação escolar (RUZANY et al., 2012 ; SCHERER, 2004 ; ARAÚJO et al., 2017 ; DAMACENO; ORTEGA; TURCI, 2019).

Os principais meios de transporte são *rabetas*, canoas e barcos, muitas vezes de propriedade dos moradores e não existe um sistema de transporte regular. Quem não tem transporte próprio depende das caronas oferecidas pelos regatões, que são barcos que navegam pelo rio comprando os produtos dos moradores e vendendo mercadoria

manufaturada. Os meses de enchente e cheia facilitam a locomoção fluvial entre os povoados e em direção aos centros urbanos, sendo que a seca marca o isolamento das populações. (RUZANY et al., 2012). Durante a visita de campo verificou-se que o tempo médio de transporte do povoado de Cabari para o centro urbano de São Gabriel da Cachoeira foi de 30 minutos de rabetá.

Os problemas nas comunidades incluem a questão da terra, da ocupação e da exploração dos recursos naturais como o garimpo, as dificuldades de escoamento da produção, a subnutrição infantil, qualidade e cobertura do ensino escolar para crianças e jovens, saneamento básico e serviços de saúde. Outro problema crescente é o cultivo, distribuição e consumo de drogas ilícitas (RUZANY et al., 2012 ; INPE, 2009 ; (SCHERER, 2004 ; SILVA, 2006).

2.5. DEMANDA E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Demanda e consumo são termos frequentemente usados em economia, a primeira é a quantidade de um bem ou serviço que os consumidores desejam adquirir por um preço definido em um dado mercado. Já o consumo refere-se ao uso que se faz dos bens ou dos serviços produzidos. Por tanto o consumo aumenta em razão da produção e da demanda e ajuda a satisfazer uma necessidade (MORANTE; ZILLES, 2004).

No contexto energético, a demanda de eletricidade é a potência necessária para suprir uma unidade consumidora e sua unidade de medida é kW. Enquanto o consumo é a potência utilizada no tempo e sua unidade é kWh (DAVID et al., 2016). Necessidades energéticas mínimas dependem de condições climáticas, preferências culturais, condições econômicas, nível de desenvolvimento, acesso a soluções de enfrentamento a escassez de energia, etc. (THE WORLD BANK GROUP, 2015).

Os fatores que influenciam o perfil de consumo de energia elétrica dos indivíduos e coletividades são variados. A demanda é uma construção social estruturada por normas e convenções que se relaciona com as características sociodemográficas, psicológicas, geográficas, socioculturais, econômicas da população e fatores técnicos e gerenciais da tecnologia (LÉVY; BELAÏD, 2018 ; MORANTE; ZILLES, 2004).

A energia elétrica é utilizada nas residências para iluminação, cozimento de alimentos, refrigeração, condicionamento ambiental, transporte, informação, comunicação, conforto e força motriz. Na falta do serviço, as comunidades usam lamparinas a óleo diesel,

vela e bico de luz para iluminação, lenha, carvão e gás para o cozimento de alimentos. Rádio a pilha para ter acesso à informação e saber o que acontece em outros lugares e se contextualizar no mundo. Usam técnicas artesanais para a conservação de alimentos como a secagem (desidratação) e máquinas de força animal ou humana para a geração de renda (SOUZA; BRASIL, 2006; SILVA et al., 2010).

Com a chegada de energia elétrica, contato com o estilo de vida urbano e maiores recursos financeiros das famílias, são adquiridos aparelhos eletrônicos como televisão, *digital video disk* – dvd, rádio, ventilador, fogão, celular e geladeira. Em muitas localidades a energia elétrica chega em um regime médio de operação de 3 a 6 horas por dia no período noturno, geralmente das 18 às 22 horas mediante geradores a óleo diesel. Os quais são custeados pelas prefeituras, estado ou pela própria comunidade, sendo que a energia elétrica é usada para iluminação e assistir televisão. O atendimento pode ser prioritário de escolas e poços comunitários de bombeamento de água. O custo do combustível para essas comunidades é de 6 a 10 vezes maior que nas cidades. A presença de energia elétrica é percebida como melhoria na qualidade de vida em termos de produtividade, conservação de alimentos e educação, mas também como causador de problemas por violência devido a multiplicação de bares com consumo de bebidas alcoólicas (RUZANY et al., 2012 ; GAMA et al., 2018 ; CARTAXO; JANNUZZI, 2006 ; BASTOS, 2014 ; ARAÚJO et al., 2017 ; SANTOS; SALGADO; PIMENTEL, 2012).

Isso acontece, por exemplo, na comunidade indígena Nova Esperança no estado do Amazonas onde é utilizado um gerador comunitário. Seu uso é racionado funcionando quatro horas durante o dia e cinco durante a noite. Neste local moram 40 famílias, as quais possuem em média três aparelhos eletrônicos e quatro eletrodomésticos em suas residências. Alguns deles tem *Wifi* o qual usam durante as horas em que a energia elétrica funciona. O custo do serviço é representado pela compra de diesel e cada família paga cerca de R\$26,00 por mês (PORTO; PROENÇA, 2019). Outro exemplo é a comunidade extrativista Terra Nova com 25 domicílios (128 habitantes) que usavam, até 2010 um sistema gerador de aproximadamente 8 kVA que funcionava das 18h30 até as 22h30 (ARAÚJO, 2014).

Durante visita de campo a São Gabriel da Cachoeira, na comunidade indígena de Cabari com 27 famílias, verificou-se a existência de um gerador a óleo diesel com capacidade de 30 Kva com consumo de 10 l/h utilizado em ocasiões especiais nas quais é necessário iluminação à noite ou uso de equipamentos elétricos. Ou seja, o sistema não é utilizado todo dia, devido ao alto custo do combustível que é arcado pelas famílias. O preço

do combustível no primeiro trimestre de 2018 em São Gabriel era de R\$3,90 para o diesel. Assim, esse gerador teria um custo mensal de R\$5.265,00 isso significa que cada domicílio estaria pagando aproximadamente R\$195,00 por mês caso utilizassem o gerador durante 4 horas por dia (18h00 às 22h00).

Os custos de geração de energia para as comunidades, poderiam ser menores caso utilizassem outro tipo de energia elétrica, como aquela que provém de fontes renováveis. É por isso que vem sendo implementados sistemas fotovoltaicos individuais e miniusinas, turbinas hidrocinéticas e gaseificadores de biomassa nos estados amazônicos.

Caso específico é o Projeto Xingu Solar que instalou 70 sistemas fotovoltaicos em 65 comunidades do território indígena Xingu até março de 2019 (INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2019). Doze comunidades do estado do Amazonas foram atendidas com igual número de miniusinas solares até 2011 (ARAÚJO, 2014). Outro projeto instalou um sistema de gaseificação de 20 kW para comunidades de ribeirinhos no estado do Amazonas (SANTOS, 2006). A mesma tecnologia atendeu uma comunidade de assentados com 180 famílias no Amazonas (GARCILASSO; COELHO; GARCILASSO, 2018). Em um rio do estado do Amapá foi instalada uma turbina hidrocinética para atendimento de um processo produtivo em uma comunidade extrativista com participação da UnB (ELS, 2008). Como apresentado, as tecnologias alternativas de geração de energia elétrica já são usadas na Amazônia comprovando sua viabilidade técnica e financeira a qual se relaciona com o consumo e demanda.

Para determinar o consumo e demanda de energia elétrica o Banco Mundial criou uma metodologia chamada “Estrutura Multi-Estratos” baseada em cinco estratos de energia ou *tiers* que analisam o acesso à energia com base em atributos como capacidade energética, disponibilidade, acessibilidade, confiabilidade, qualidade, saúde e segurança. A capacidade do sistema refere-se ao fornecimento de uma determinada quantidade de eletricidade para operar diferentes aparelhos (medida em watts para redes, mini redes e geradores a óleo diesel; e em watts/hora para baterias recarregáveis, lanternas solares e sistemas domésticos solares). A disponibilidade significa a quantidade de tempo que a eletricidade está disponível (medida em número total de horas por dia e número de horas noturnas) (BHATIA; ANGELOU, 2015).

A confiabilidade do fornecimento de eletricidade é definida em termos de frequência e duração das interrupções não programadas. A qualidade do fornecimento de eletricidade refere-se ao nível e estabilidade da tensão. Já a acessibilidade se relaciona com o fato de as

famílias poder pagar pela eletricidade. A legalidade refere-se ao pagamento pelo serviço e não uso de conexões ilegais. Enquanto a saúde e segurança têm a ver com a forma como a instalação da fiação é realizada obedecendo padrões nacionais definidos pela regulamentação, garantindo que as pessoas estejam protegidas dos perigos que podem surgir durante a operação da eletricidade em condições normais e de falha (BHATIA; ANGELOU, 2015).

No Quadro 2, se apresentam atributos dos estratos de energia, serviços de eletricidade, equipamentos e fontes a ser utilizadas. Os serviços de energia para uso residencial são iluminação, entretenimento e comunicação, refrigeração, cargas mecânicas, produtos de aquecimento, preparação de alimentos. Os eletrodomésticos que podem ser utilizados dependem de cinco tipos de carga: baixíssima, baixa, média, alta e altíssima. Os primeiros são para iluminação, carregamento de bateria de celular e rádio. Os segundos para carregamento de bateria de celular e radio, iluminação em vários pontos, televisor, computador, impressora e ventilador. E os terceiros para carregamento de bateria de celular e radio, iluminação em vários pontos, televisor, computador, impressora e ventilador, refrigerador de ar, geladeira, freezer, processador de alimentos, bomba de água, panela elétrica de arroz (BHATIA; ANGELOU, 2015).

Com alta carga todos os incluídos na média mais máquina de lavar, ferro de passar roupa, secador de cabelo, torradeira e micro-ondas. E por último com cargas altíssimas de energia todos esses mais ar-condicionado, aquecedor, aspirador de pó, aquecedor de água e fogão elétrico (BHATIA; ANGELOU, 2015). As tecnologias de abastecimento de energia elétrica são no primeiro estrato a lanterna solar, no segundo estrato bateria recarregável e sistemas solares residenciais, no terceiro e quarto são usadas mini-redes, geradores a combustível fóssil e no quinto geradores de grande porte e rede central de energia.

Quadro 2. Atributos por *tier* (estrato) de energia para uso residencial

Atributo	<i>Tier 0</i>	<i>Tier 1</i>	<i>Tier 2</i>	<i>Tier 3</i>	<i>Tier 4</i>	<i>Tier 5</i>
Capacidade		3 W (12 Wh)	50 W (200 Wh)	200 W (1 kWh)	800 W (3,4 kWh)	2000 W (8,2 kWh)
Suporta eletrodomésticos		Muito baixa carga de energia	Baixa carga de energia	Média carga de energia	Alta carga de energia	Muito alta carga de energia

Atributo	Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5
Tecnologias de abastecimento típicas		Lanterna solar	Bateria recarregável e sistema solar residencial - SSR	SSR médio, gerador a combustível fóssil, mini-rede	SSR médio, gerador a combustível fóssil, mini-rede e rede central	Grande gerador baseado em combustível fóssil, rede central
Duração		4	4	8	16	23
Mínimo de horas/dia						
Mínimo de horas/noite		1	2	3	4	4
Confiabilidade						
Número máximo de interrupções por semana					14	3 com duração de menos de 2 horas
Acessibilidade					Menor a 5% da renda	
Consumo padrão de 365 kWh / ano					Menor a 5% da renda	

Fonte: elaboração própria com base em (BHATIA; ANGELOU, 2015)

Na Tabela 5 apresentam-se os estratos em relação ao consumo de eletricidade anual em kWh e diário em Wh. Como observado o consumo anual, mensal e diário aumentam gradualmente acompanhando o *tier*, sendo o máximo alcançado no quinto. No estrato 0 não existe consumo de eletricidade e são usados outros meios como velas, lampião, fogão a lenha, etc. Os estratos quatro e cinco são os que possibilitam maior demanda e consumo de energia elétrica.

Tabela 5. Consumo de eletricidade diário e anual por estrato de energia

	Tier 0	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5
Nível de consumo anual (kWh)		≥4,5	≥73	≥365	≥1.250	≥3.000
Nível de consumo mensal (kWh)		≥0,375	≥6,1	≥30,4	≥104,16	≥250
Nível de consumo diário (Wh)		≥12	≥200	≥1.000	≥3.425	≥8.219

Fonte: adaptada a partir de (BHATIA; ANGELOU, 2015)

A Figura 11 complementa a Tabela 5 e indica a duração do serviço durante o dia e a noite que aumenta de 4 para 23 horas no último estrato ao igual que o número de equipamentos usados no domicílio.

Figura 11. Estratos de energia, uso de equipamentos e horas de duração



Fonte: (BHATIA; ANGELOU, 2015)

Na Tabela 6 apresenta-se o cálculo indicativo do consumo de eletricidade por estrato de energia. Na medida que o domicílio tem maior acesso a eletricidade maior é sua demanda e consumo de energia, como também a variedade de eletrodomésticos para conforto, lazer e acesso a serviços básicos. Desta forma, o consumo anual no primeiro estrato é de 4,5 kWh, no segundo de 73,5 kWh, no terceiro de 319,9 kWh, no quarto de 1.250,4 kWh e no quinto de 2.998 kWh.

Tabela 6. Cálculo indicativo do consumo de eletricidade por estrato e equipamento

Eletrodomésticos	Watt equivalente por unidade	Horas por dia	Consumo mínimo em kWh/ano				
			Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5
Lanterna	1/2	4/8	1,5	2,9	2,9	5,8	5,8
Carregamento de celular	2	2/4	1,5	2,9	2,9	2,9	2,9
Radio	1/4	2/4	1,5	5,8	5,8	5,8	5,8
Ventilador	20/40	4/6/12/18		29,5	87,6	175,2	262,8
Televisão	20/40	2		14,6	29,2	29,2	29,2
Iluminação geral	12	4/8/12		17,5	17,5	35	52,5
Liquidificador	200	0,5			36,5	36,5	36,5
Máquina de lavar	500	1			182,5	182,5	182,5
Geladeira	300	6				657	657
Ferro de passar roupa	1.100	0,3				120,5	120,5
Ar-condicionado	1.500	3					1.642,5
Total			4,5	73,2	319,9	1.250,4	2.998

Fonte: adaptada a partir de (BHATIA; ANGELOU, 2015)

O primeiro estrato da estrutura para medir o acesso a serviços de eletricidade residencial se fundamenta em dois serviços essenciais para o desenvolvimento humano que são a iluminação e o carregamento de telefones celulares. Sem acesso a um fornecimento de rede de boa qualidade ou sistemas de energia fora da rede, as pessoas recorrem à iluminação com base em combustível e lanternas descartáveis. Globalmente, há mais contas de telefone celular ativas do que pessoas, o que significa que em muitos países a taxa de acesso doméstico a telefones celulares é muito maior do que a taxa de acesso à eletricidade (BHATIA; ANGELOU, 2015).

As comunidades rurais na Amazônia Ocidental encontram-se atualmente em estrato 0 sem nenhum tipo de acesso a eletricidade, em estrato 1 as que usam lanterna, carregamento de celular e rádio, geralmente com pequenas placas fotovoltaicas e geradores a óleo diesel e em estrato 2 as que são beneficiadas por algum programa do governo ou de instituições privadas e possuem certos benefícios da eletricidade em seus lares.

Conforme Cartaxo os equipamentos utilizados em comunidades amazônicas com serviço regular de energia elétrica eram no ano 2000: televisor, ventilador, freezer, geladeira, lâmpada (incandescente) e rádio. Já Araújo menciona que em 2014 eram geladeira de uma porta, televisor em cores de 14”, 20” e/ou 29”, ventilador pequeno, aparelho de som três em um e videocassete (CARTAXO, 2000 ; ARAÚJO, 2014).

Dessa forma, com base no anterior esta pesquisa determinou que equipamentos podem ser utilizados pelas comunidades rurais da Amazônia Ocidental e calculou-se o consumo de energia elétrica. Dados que posteriormente foram utilizados para a elaboração da modelagem energética para a região da Amazônia Ocidental e para a vila Cabari no município de São Gabriel da Cachoeira. Assim, considera-se que para uma família ter conforto, lazer e acesso a serviços básicos os equipamentos poderiam ser: geladeira de uma porta, televisão de 32 polegadas, lâmpadas LED (*Light Emitting Diode* siglas em inglês), liquidificador, rádio, ventilador, celular, notebook, tanquinho e lanterna de carregar. Esses equipamentos estão incluídos no estrato 3 da Tabela 6, e são descritos na Tabela 7 com os cálculos de consumo por dia, mês e ano em kWh.

Estudo realizado em 2014 por Fuso Nerini et., al para avaliar as opções de eletrificação na Amazônia utilizou como base de análise um consumo de 60 kWh/mês/domicílio para fornecer pelo menos iluminação básica (3 lâmpadas fluorescentes para uso 6 h / dia), recarga de telefone (2 h / dia para domicílio), rádio / televisão (4 h / dia para domicílio), geladeira com baixo consumo de energia e bombeamento compartilhado de

água para a comunidade (FUSO NERINI et al., 2014). Contudo, nesta pesquisa se propõe um consumo de 62,19 kWh/mês/domicílio para uso de diversos eletrodomésticos que oferecem lazer e conforto para a população de forma mais completa, pensando na inserção social e energética (eletricidade) das famílias da Amazônia Ocidental e preparando o sistema para as demandas do futuro e não para um atendimento limitado em termos de demanda.

Tabela 7. Exemplo elaborado de consumo residencial de energia elétrica em uma comunidade rural amazônica

Ambiente	Aparelho	Qtd	Potência Watts	Média uso dia (horas)	Consumo kWh/dia	Consumo kWh/mês	Consumo kWh/ano
Banheiro	Lâmpada LED	1	4	1	0,004	0,12	1,46
Cozinha lavanderia	Lâmpada LED	1	4	2	0,008	0,24	2,91
	Geladeira	1	150	24	0,840	25,20	302,40
	Tanquinho	1	70	2	0,056	1,68	20,16
	Liquidificador	1	200	0,5	0,101	3,03	36,40
Sala/quarto	Lâmpada LED	3	4	6	0,024	0,73	8,74
	Televisão 32 polegadas	1	60	2	0,121	3,64	43,68
	Radio	1	4	4	0,016	0,49	5,82
	Ventilador	2	65	12	0,789	23,66	283,92
	Celular	2	2	2	0,004	0,12	1,46
	Notebook	1	50	2	0,101	3,03	36,40
	Lanterna de carregar	1	2	4	0,008	0,24	2,91
TOTAL					2,07	62,19	746,26

Fonte: Elaboração própria a partir de (BHATIA; ANGELOU, 2015 ; CARTAXO, 2000 ; ARAUJO, 2014 ; PROCEL, 2021)

O uso produtivo de energia é um impulsionador significativo do crescimento socioeconômico porque aumenta a produtividade, a renda e o emprego; reduz carga de trabalho e libera tempo para outras atividades; e facilita a disponibilidade de produtos de maior qualidade ou preços mais baixos por meio da produção local. As aplicações produtivas de energia referem-se aos serviços necessários para apoiar as atividades produtivas como iluminação, tecnologia da informação e comunicação (TIC), força motriz, aquecimento, etc. (BHATIA; ANGELOU, 2015). No Quadro 3 são apresentados os atributos da eletricidade para o uso produtivo, sendo que o estrato energético 0 foi retirado porque não existem atributos para ele.

Quadro 3. Atributos por *tier* (estrato) de energia para uso produtivo

Atributo	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5
Capacidade	3 W	50 W	200 W	800 W	2 kW
Poder mínimo	12 Wh	200 Wh	1,0 kWh	3,4 kWh	8,2 kWh
Abastecimento diário	Lanternas solares	Sistemas solares autônomos	Gerador mini-rede ou	Gerador ou rede	Rede
Tecnologia típica			Atende parcialmente os requisitos	Atende amplamente aos requisitos	Atende totalmente aos requisitos
Fontes não elétricas de energia			Nenhum aplicativo relevante em falta devido a restrições de eletricidade.		
Elétrico e não elétrico					
Duração			Metade das horas de trabalho (min 50%)	Maioria das horas de trabalho (min 75%)	Quase todas as horas de trabalho (min 95%)
Mínimo	2 horas	4 horas			
Fontes não elétricas de energia			Atende parcialmente os requisitos	Atende amplamente aos requisitos	Atende totalmente aos requisitos
Elétrico e não elétrico			Horas de trabalho mais longas não são evitadas unicamente pela falta de disponibilidade adequada (duração) de abastecimento.		
Confiabilidade				Problemas com impacto moderado	Sem problemas ou pouco (ou nenhum) impacto
Qualidade				Impacto moderado	Sem problemas ou pouco (ou nenhum) impacto
Acessibilidade				Custo de energia variável ≤ 2 vezes a tarifa da rede	Custo variável da energia \leq a tarifa da rede
Legalidade				Conta de energia paga	
Conveniência				Problemas causam impacto moderado	Pouco (ou nenhum) problema ou pouco (ou nenhum) impacto
Segurança				Causaram acidentes que não exigiram assistência médica profissional	Não causaram acidentes
Soluções energéticas					

Fonte: (BHATIA; ANGELOU, 2015)

Para determinação dos equipamentos de uso produtivo e de uso comunitário se utilizou a pesquisa de Mathyas, Souza e Cassares (2018) realizada no estado do Amazonas em uma reserva extrativista.

Os equipamentos escolhidos nesta pesquisa pela autora com base em literatura para as atividades produtivas em comunidades da Amazônia Ocidental foram: freezer vertical, despoldadeira de frutas e ralador. E para abastecimento de água uma bomba de 1 CV apresentados na Tabela 8. Esses equipamentos teriam um consumo diário de 7,95 kWh, mensal de 238,56 kWh e anual de 2.862,68 kWh. Esse consumo está classificado no estrato 4 com um consumo diário inferior a 8,2 kWh.

Os critérios da escolha foram maior quantidade de vezes que os equipamentos foram encontrados em documentos sobre a Amazonia, revisados nesta pesquisa, compostos por artigos, dissertações, tese e relatórios de pesquisa.

Com esses dados foi realizada a modelagem energética nesta pesquisa para a demanda produtiva. Conforme mencionado na descrição do município as atividades de São Gabriel são agropecuárias, por isso as comunidades podem utilizar esses equipamentos para gerar valor agregado a suas culturas, trabalhar nos artesanatos que geralmente comercializam com apoio de instituições presentes na região e vender peixes nas cidades.

A despoldadeira de motor elétrico de 1/2 CV de potência possui capacidade de 10 a 20 litros, conforme o modelo e a eficiência do motor escolhido. A bomba de água de corrente contínua pode ser submersível com capacidade de bombeamento a uma altura manométrica de até 70 metros com vazão de 30 L/h, ou seja, mais de 5.000 L por dia. (MATHYAS; SOUZA; CASSARES, 2018).

De acordo com o consumo diário calculado para atividades produtivas em uma comunidade amazônica, o estrato energético seria o quinto com mínimo 8,2 kWh/dia apresentado na Tabela 8. Não obstante, esse consumo pode ser menor caso as atividades sejam outras, contudo, foram escolhidos esses equipamentos porque conforme Xavier et al (2006) as frutas e a mandioca são fontes de renda das comunidades.

Tabela 8. Exemplo elaborado de consumo produtivo de energia elétrica em uma comunidade rural amazônica

Aparelho	Qtd	Potência watts	Média uso dia (horas)	Consumo kWh/dia	Consumo kWh/mês	Consumo kWh/ano
Freezer vertical	1	300	24	1,60	48,08	576,94
Bomba de água 1 CV	1	735,5	4	2,97	89,24	1070,89
Despoldadeira de frutas	1	367,5	5	1,86	55,74	668,85
Ralador	1	300	5	1,52	45,50	546,00
TOTAL				7,95	238,56	2.862,68

Fonte: elaboração própria a partir de (MATHYAS; SOUZA; CASSARES, 2018).

Energia para serviços comunitários como educação e saúde é fundamental para o desenvolvimento socioeconômico. Os usos comunitários referem-se a serviços que impactam indiretamente o desenvolvimento e a geração de renda, em oposição aos usos produtivos de energia que impactam diretamente. Esses serviços são iluminação pública, instalações de saúde e educação, prédios públicos e governamentais (BHATIA; ANGELOU, 2015).

A iluminação pública promove a segurança e a mobilidade, especialmente para as mulheres, e estimula a atividade econômica e social. As unidades de saúde sem acesso à energia são incapazes de fornecer cuidados adequados à população, devido à falta de iluminação, refrigeração e serviços de esterilização e à incapacidade de atrair pessoal treinado, especialmente em áreas distantes em zona rural (BHATIA; ANGELOU, 2015).

Já a educação tem um impacto positivo nos níveis de renda e as taxas de matrícula educacional estão positivamente correlacionadas com o acesso à energia. O qual aumenta o tempo que os alunos passam na escola e melhora a experiência das crianças e jovens como também dos professores com uso de computadores e outras ferramentas de tecnologia da informação. Os espaços da comunidade como locais de culto, salas de casamento e outras instalações oferecem espaço para atividades religiosas, sociais e culturais. A bomba de água facilita um maior acesso a água potável e melhor saneamento, o acesso a tecnologias da informação relaciona-se com o uso de energia para computação, eletrônica e outros fins de comunicação e audiovisual (BHATIA; ANGELOU, 2015).

No Quadro 4 encontram-se os atributos por estrato de energia para o uso comunitário para iluminação pública e instituições comunitárias para poder de energia, capacidade de abastecimento diário e tecnologia, eletricidade, custo variável de energia e sustentabilidade financeira.

Quadro 4. Atributos por *tier* (estrato) de energia para uso comunitário

Atributo	Uso	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5
Capacidade de Poder de eletricidade.	Iluminação pública	Pelo menos um poste de luz na vizinhança	Pelo menos 25% do bairro é coberto por postes de luz	Pelo menos 50% do bairro é coberto por postes de luz	Pelo menos 75% do bairro é coberto por postes de luz	Pelo menos 95% do bairro é coberto por postes
Capacidade de abastecimento diário e tecnologia	Instituições comunitárias	Min 3 W Min 12 Wh Lanternas solares	Min 50 W Min 200 Wh Sistemas solares autônomos	Min 200 W Min 1 kWh Gerador ou mini-rede	Min 2 kW Min 3,4 kWh Gerador ou rede	Min 10 kW Min 8,2 kWh Rede

Atributo	Uso	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4	Tier 5
Energia não eléctrica				Atende parcialmente aos requisitos	Atende amplamente aos requisitos	Atende totalmente aos requisitos
Disponibilidade	Iluminação pública Funcionamento	Pelo menos 2 horas à noite por dia	Pelo menos 4 horas à noite por dia	Pelo menos 50% das horas noturnas por dia	Pelo menos 75% das horas noturnas por dia	Pelo menos 95% das horas noturnas por dia
Eletricidade	Instituições comunitárias			Atende totalmente aos requisitos	Atende totalmente aos requisitos	Atende totalmente aos requisitos
Acessibilidade Custo de energia variável	Instituições comunitárias				Custo de energia variável ≤ 2 vezes a tarifa da rede	Custo de energia variável \leq a tarifa da rede
Sustentabilidade financeira					O acesso à energia não foi interrompido devido a contas de serviços públicos não pagas ou falta de orçamento para compras de combustível, manutenção, peças ou baterias durante os últimos 12 meses.	

Fonte: elaboração própria com base em (BHATIA; ANGELOU, 2015)

Nesta pesquisa, para a demanda comunitária de energia escolheram-se equipamentos que são usados em espaços compartilhados por comunidades amazônicas e estão presentes na igreja, escola, posto de saúde, abastecimento de água e centro comunitário. Assim, foram: lâmpadas LED, Sonorização (equipamentos de som), ventiladores, televisão, geladeira, liquidificador, notebooks, autoclave, cadeira odontológica e bomba de água de 5 cv e iluminação pública como apresentado na Tabela 9. O consumo diário de energia elétrica é de 10,61 kWh, mensal de 318,26 kWh e anual de 3.819,09 kWh. Com esses dados foi realizada a modelagem energética para a demanda comunitária. Na Organização das Nações Unidas – ONU não existe uma lista de possíveis equipamentos a serem utilizados para melhorar as condições de vida das comunidades e sim esclarecimentos sobre sua importância para saúde, educação, segurança e atividades sociais.

O mínimo de capacidade de energia para o uso comunitário calculado é de 8,2 kWh/dia na categoria de estrato 5 e que deve ser abastecido por rede conforme mencionado pelo Banco Mundial. Contudo, conforme a literatura revisada vários geradores ou mini-redes conseguem atender as necessidades. Diversos projetos, por exemplo o apresentado por

Mathyas, Souza e Cassares (2018) em comunidades extrativistas utilizam kit escola, kit bomba freezer, kit bombeamento, entre outros para atender demandas das localidades mediante o uso de painel solar.

Tabela 9. Consumo comunitário de energia elétrica em uma comunidade rural amazônica

Local	Equipamentos	Qtd	Potência watts	Total potência	Média uso dia (horas)	Consumo kWh/dia	Consumo kWh/mês	Consumo kWh/ano
Escola	Tv 32 polegadas	1	60	60	2	1,21	36,40	436,80
	Notebook	7	20	140	4	2,83	84,93	1019,20
	Lâmpadas LED	5	4	20	6	0,10	2,90	34,80
	Aparelho de som	1	80	80	1	0,05	1,60	19,20
	Geladeira	1	150	150	24	0,84	25,20	302,40
	Liquidificador	1	200	200	0,5	0,07	2,00	24,00
	Ventilador	4	20	80	6	0,32	9,60	115,20
Posto de Saúde	Lâmpadas LED	4	4	16	6	0,06	1,92	23,04
	Geladeira	1	150	150	24	0,84	25,20	302,40
	Notebook	1	20	20	3	0,40	12,13	145,60
	Ventilador	2	20	40	6	0,16	4,80	57,60
Uso comunitário e residencial	Bomba de água 5cv	1	1837,5	1837,5	2	3,72	111,48	1337,70
Centro comunitário	Lâmpadas LED	3	4	12	2	0,00	0,10	1,15
TOTAL						10,61	318,26	3.819,09

Fonte: elaboração própria a partir de (ELETROBRAS, 2006 ; BHATIA; ANGELOU, 2015 ; PROCEL, 2021).

A demanda de energia elétrica é dinâmica e aumenta conforme a oferta de kW por unidade consumidora e de diversos fatores sociais, econômicos e ambientais. Em termos técnicos os atendimentos do Programa Luz para Todos, são realizados mediante Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI; e Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia elétrica – MIGDI com potência instalada total de geração até 100 kW. O programa disponibiliza mensalmente mínimo 45 kWh por unidade consumidora, conforme a Resolução Normativa ANEEL 493 de 5 de junho de 2012, para atender as necessidades básicas de iluminação, comunicação e refrigeração (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015).

O acesso e demanda de energia para uso de eletrodomésticos, cozimento, aquecimento/resfriamento, atividades produtivas, comunitárias ou governamentais (em termos de investimentos em infraestrutura para a população) deve ser analisado não desde

uma visão binária de acesso ao serviço (tem acesso ou não a energia elétrica), mas sim desde uma visão que envolve vários níveis e indicadores (BHATIA; ANGELOU, 2015).

Dessa forma no Brasil existe a tecnologia e na Amazônia Ocidental as fontes para gerar eletricidade em comunidades tradicionais, mas a região não tem a autossuficiência nem a infraestrutura necessária para sua conversão. A Amazônia é rica em recursos renováveis como rios, biomassa e radiação solar. O governo federal, estatal e municipal vem implementando políticas públicas de universalização de acesso à energia, contudo não conseguem atender o 100% da população com uso de fontes fósseis e renováveis. E o que está além da oferta de fontes energéticas, demanda da população e tecnologias disponíveis é a vontade política e das distribuidoras, relacionados estreitamente com os interesses particulares, custos de infraestrutura e baixa renda da população rural.

Para Trigoso (2004), o acesso de todas as comunidades rurais a energia elétrica depende da vontade política porque devem ser buscadas soluções, conforme o grau de dispersão e afastamento da população, o qual as vezes exige que a energia seja gerada no próprio local e possivelmente administrada pelos próprios clientes.

2.6. POTENCIAL ENERGÉTICO E TECNOLOGIAS

O potencial energético e as tecnologias disponíveis para geração de energia elétrica a partir de fontes, principalmente, renováveis são apresentadas neste item. São diversas as fontes energéticas na Amazônia, fatores a ser considerados na escolha da fonte são a qualidade e quantidade dos recursos, clima, relevo, proximidade, empoderamento das comunidades, tecnologia disponível, consumo e expectativas, entre outros. As fontes devem ser utilizadas de maneira sustentável econômica e ambiental para garantir sua utilização de forma regular e segura. Para a região amazônica as fontes disponíveis são a energia solar; biomassa como resíduos de atividades agrícolas e resíduos de produtos extrativos; recurso hídrico e ventos (RODRIGUES, 2006 ; ALMEIDA, 2010 ; SEVERINO, 2008 ; ARAÚJO, 2014 ; TRIGOSO, 2004 ; MORANTE; ZILLES, 2004 ; VELÁZQUEZ et al., 2010 ; SANTOS, 2006 ; VAN ELS et al., 2012).

As tecnologias disponíveis são variadas e seu uso depende de fatores como recursos financeiros, características socioeconômicas das populações, características geográficas e biofísicas do local. Além de questões políticas e econômicas dado que existem diversos interesses nas tecnologias utilizadas na geração de energia. Entre as tecnologias

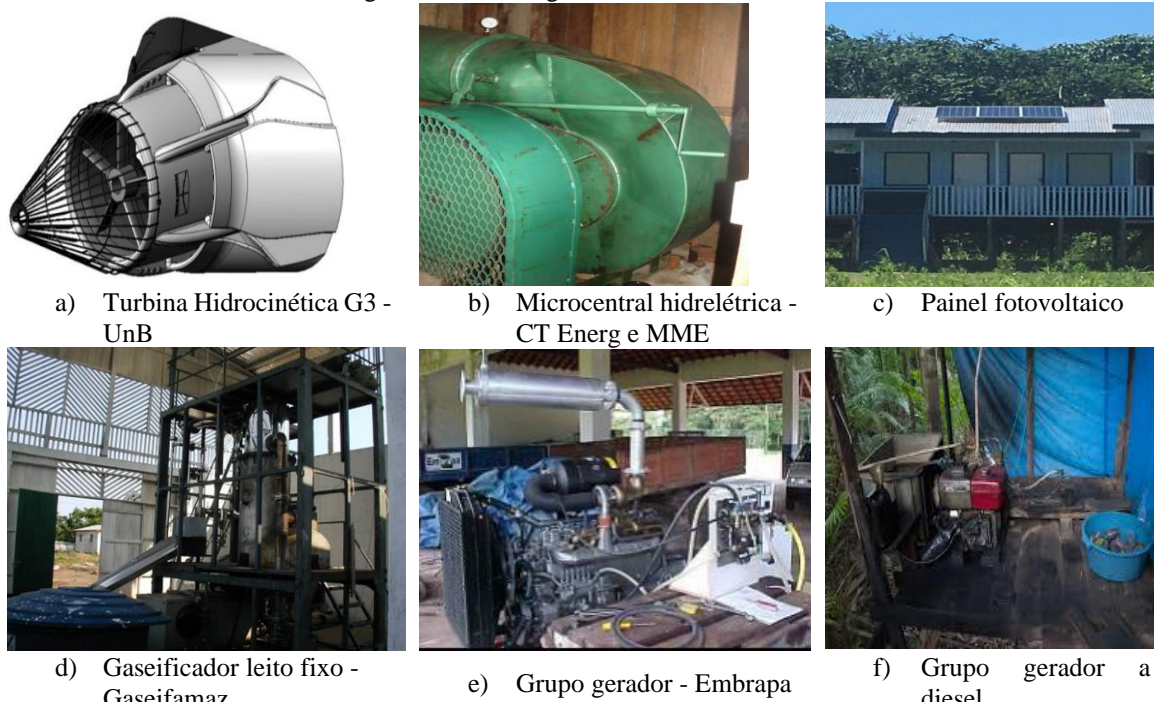
para fontes renováveis encontram-se turbinas, placas fotovoltaicas, geradores, bombas, etc. Na Figura 12 se apresentam tecnologias utilizadas em projetos Amazônicos para geração de energia elétrica, a maioria dos estudos encontrados tratam de energias renováveis com fonte solar e biomassa. Embora seja ambientalmente melhor o uso de energias renováveis, na Amazônia são muito utilizados os sistemas geradores a diesel e isso se deve a fatores técnicos, políticos e financeiros porque são baratos em comparação com as outras tecnologias e sua fabricação é nacional.

As fontes solar e eólica são dinâmicas no tempo, dependem dos ciclos diários, das estações do ano e das variações aleatórias da atmosfera. Por esse motivo a potência elétrica da fonte difere por excesso ou por déficit e é necessário armazenar a energia produzida. Portanto é recomendado o uso de sistemas híbridos que utilizam várias fontes energéticas que se complementam. O sistema de armazenamento mais utilizado são os acumuladores eletroquímicos ou baterias, contudo a oferta de mercado limita a disponibilidade das baterias, sendo as mais frequentes no Brasil as de chumbo-ácido (Pb-Ácido) e níquel-cádmio (Ni-Cd). As vantagens do uso de sistemas híbridos com geradores a diesel são o uso de recursos locais, a modularidade e pouca manutenção, geração descentralizada, baixa emissão de gases efeito estufa, entre outros. As desvantagens são o investimento inicial elevado, o uso de um sistema de armazenamento e pessoal capacitado para manutenção (BARRETO et al., 2008).

Conforme a revisão de literatura, entre as tecnologias que já foram utilizadas na Amazônia para projetos de pesquisa e extensão em comunidades se encontram a turbina hidrocíntrica de 1 kW (a), microcentrais hidrelétricas de 20 kW (b), gaseificador de leito fixo de 20 kW (c), painel fotovoltaico de 2 kW (d), grupo gerador adaptado a óleo “in natura” de dendê (e) e gerador a óleo diesel de 8 kW (f) como apresentado na Figura 9.

No caso da microcentral hidrelétrica de 20 kW, um exemplo de uso, foi no assentamento Aquidabam no Amazonas para atendimento de 180 famílias para uso produtivo com cupuaçu (GARCILASSO; COELHO; GARCILASSO, 2018). Um sistema fotovoltaico foi desenvolvido para atendimento de quatro fins em uma comunidade extrativista: bombeamento de água, iluminação e equipamentos na escola, despoldadeira de açaí e sistema de refrigeração (freezer) (MATHYAS; SOUZA; CASSARES, 2018). No caso da turbina hidrocíntrica de 1 Kw foi instalada no estado do Amapá para uso produtivo de extrativistas de castanha (BRASIL et al., 2007a). O grupo gerador da Embrapa foi instalado em uma comunidade extrativista do estado do Amazonas para substituir o óleo diesel por biodiesel (BARRETO et al., 2008).

Figura 12. Tecnologias usadas na Amazônia



a) Turbina Hidrocinética G3 - UnB

b) Microcentral hidrelétrica - CT Energ e MME

c) Painel fotovoltaico

d) Gaseificador leito fixo - Gaseifamaz

e) Grupo gerador - Embrapa

f) Grupo gerador a diesel

Fonte: (GARCILASSO; COELHO; GARCILASSO, 2018); BRASIL et al., 2007a ; BARRETO et al., 2008 ; MATHYAS; SOUZA; CASSARES, 2018).

2.6.1. Grupos Geradores a Óleo Diesel

Os grupos geradores são motores usados para fornecer energia, a operação é realizada pela adição de combustível no motor de combustão interna do tipo otto (etanol, biogás, gás natural ou gasolina) ou diesel (óleo diesel) quando inicia a partida aciona o eixo de um gerador elétrico que fornece tensão aos terminais (BARRETO et al., 2008). O grupo motor gerador é um equipamento com motor acoplado a um gerador e montado sobre uma base metálica acionado de forma manual ou automática. O motor elétrico pode ser síncrono ou de indução, de combustão interna e usar um gerador elétrico de corrente alternada ou contínua com eixos mecanicamente acoplados. O consumo de combustível varia conforme a potência do gerador, quanto maior a potência em kW maior a quantidade de combustível líquido (SCHNEIDER, 2019).

Na Figura anterior foram apresentados dois modelos desses geradores no item c (gerador da Embrapa) e f (gerador a diesel). O rendimento do motor está entre 36 a 41 % para combustíveis comerciais com poder calorífico médio de 10.500 kcal/kg. O consumo específico é de 0,26 litros por kW/h gerado em regime de carga a partir de 70% de sua capacidade nominal (SILVA, 2017).

É muito utilizado na Amazônia porque é fácil de comprar, tem ampla faixa de potência, preço baixo de aquisição quando comparado com outras tecnologias, robustez, fácil operação, etc. A desvantagem se encontra no custo de operação e manutenção porque é elevado e a obtenção do combustível em áreas remotas é difícil, e também a contaminação do ar pelos gases e o ruído que produz. Um aspecto positivo dessa tecnologia é seu uso com combustíveis renováveis mediante a conversão, o qual diminui seu impacto (BARRETO et al., 2008).

2.6.2. Microcentrais hidrelétricas

As centrais hidrelétricas estão compostas por um sistema de captação e adução de água até o grupo gerador que transforma a energia hidráulica em eletricidade, a qual posteriormente é transmitida até o ponto de consumo mediante cabos elétricos. As microcentrais possuem comportas, condutos, válvulas, turbinas hidráulicas, geradores, reguladores de velocidade, sistemas de controle, comando, automação e supervisão. As turbinas convencionalmente usadas são a Pelton, a Francis, a Hélice e a Kaplan. Uma turbina alternativa é a Indalma considerada rudimentar, robusta e de baixo custo (BARRETO et al., 2008).

A região Amazônica é considerada propícia à tecnologia, os rios caudalosos e com pequenas declividades dificultam o uso de microcentrais pelo qual são necessárias adaptações. No caso da Indalma tem sido instalada em cerca de 60 locais no estado do Pará; uma microcentral foi implantada em uma comunidade, também nesse estado, para atender famílias, escola e projeto produtivo. Em Rondônia foi instalada uma microcentral para atendimento de 40 famílias (BARRETO et al., 2008 ; ELS, 2008).

2.6.3. Turbinas hidrocínéticas

As turbinas hidrocínéticas são consideradas uma opção de geração de energia elétrica para comunidades remotas ou para aproveitar a energia remanescente das usinas hidrelétricas, complementando a potência gerada. Em relação à potência classifica-se como picocentral aquela que gera até 5 kW e como microcentral a que gera de 5 até 100 kW (DI LASCIO; BARRETO, 2009 ; GALDINO et al., 2009). Estão compostas por cinco subsistemas: o conversor hidrocínético (turbina), ancoragem (fixa ou flutuante), o conversor de energia elétrica e sistema de transmissão e a conexão entre a comunicação e controle

remoto. A turbina possui a carcaça e difusor, núcleo conversor e rotor com as pás e anel (LAGO; PONTA; CHEN, 2010 ; BRASIL et al., 2007b)

Lugares estratégicos para a geração de energia hidrocínética nos rios são trechos com declividades fortes, estreitamento da seção transversal e com potências remanescentes. Idealmente devem ser instaladas em locais com fluxo relativamente estável ao longo do ano e não propensos a graves eventos de inundação, turbulência ou períodos prolongados de baixo nível de água. Para determinar a potência se utiliza uma equação que leva em consideração aspectos do local de instalação e das características do equipamento (FILHO; BOTAN; SOUZA, 2016 ; RAMÍREZ; CUERVO; RICO, 2016 ; HOLANDA et al., 2017 ; (SANTOS et al., 2019 ; ANYI; KIRKE, 2010 ; JOHNSON; PRIDE, 2010).

O coeficiente de Betz (K_b) é um limite teórico que determina a porcentagem de energia cinética que pode ser extraída de um fluido em movimento com energia cinética máxima disponível. Por tanto, determina a eficiência global da turbina, no Quadro 5 se encontram as equações usadas para determinar potencial hidrocínético.

Quadro 5. Equações potencial hidrocínético

Número	Equação	Explicação
2	$P = K_b \times \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3$	P: potência total produzida pela turbina (Watts); P: densidade do fluido ($\frac{kg}{m^3}$) A: área de varredura das pás do rotor (m^2); V: velocidade da água ($\frac{m}{s}$) K _b : coeficiente de poder da turbina. densidade do fluido é de 1000 kg/m ³ (GÜNEY; KAYGUSUZ, 2010).
3	$A = H \times D$	A é igual ao diâmetro vezes a altura
4	$K_b = \frac{P}{0,5 \rho AV^3}$	P: potência total da turbina (watts); ρ : densidade do fluido ($\frac{kg}{m^3}$); A: área de varredura das pás do rotor (m^2); V: velocidade da água ($\frac{m}{s}$)

Para determinar o potencial hidrocínético se analisam variáveis hidrológicas e hidráulicas, as ferramentas tecnológicas utilizadas são o *Acoustic Doppler Current Profiler* – ADCP, Sistemas de Posicionamento por Satélite – GPS, *Swoffer* e ecobatímetro. Junto com eles são usados softwares especializados em elementos finitos e modelagem numérica como H2D2 – MEF; Winriver II; TELEMAC3D; ANSYS CFX; Método Flutuante de Superfície - SFM e ArcGis que incluem variáveis como distância das comunidades aos rios e à rede elétrica, velocidade, vazão e largura de um curso d'água, declividade, bacia hídrica,

estradas, vias de acesso, uso e ocupação do solo, aglomerados sociais isolados e socioeconômicos. Outro método é calculando a velocidade média diária, a forma geométrica e a distribuição do perfil logarítmico de velocidade da seção transversal de rios com base em dados de vazão diária (FILHO; BOTAN; SOUZA, 2016 ; KIRINUS; MARQUES, 2015 ; (HOLANDA et al., 2017 ; BITTENCOURT; NUNES, 2016 ; ELS; BRASIL, 2015 ; BARRETO, 2004 ; SOUZA et al., 2004 ; FELIZOLA; MAROCCOLO; FONSECA, 2007 ; OLIVEIRA, 2016 ; CRUZ, 2018).

No Brasil existem estudos de potencial hidrocínético em Usinas Hidrelétricas - UHE na região Norte (Tucuruí, Samuel, Curuá-Una) e na região Sudeste (Ibitinga, Bariri); na Plataforma Continental Sul-Sudeste, no estado da Bahia (Correntina, Barreira e São Desiderio), no Estado do Acre (Marechal Thaumaturgo), no Distrito Federal, nos rios Amazonas, São Francisco e Paraná com os equipamentos e softwares supracitados. Para a Amazônia Ocidental não existem estudos de potencial hidrocínético (FILHO; BOTAN; SOUZA, 2016 ; KIRINUS; MARQUES, 2015 ; HOLANDA et al., 2017 ; (BITTENCOURT; NUNES, 2016 ; ELS; BRASIL, 2015 ; CRUZ, 2018).

Nas áreas mais altas dos rios amazônicos, com altitudes acima de 100m, as velocidades permitem aproveitamentos hidrocínéticos. A velocidade média dos rios na região é de 1,5 m/s no período das cheias. Essa grande riqueza hídrica oferece uma oportunidade de atender a demanda de energia elétrica das comunidades (CERPCH, 2005). A implementação de sistemas hidrocínéticas em corpos hídricos podem causar impactos ambientais. Embora os impactos sejam considerados mínimos, pesquisadores vêm avaliando alterações no sedimento, nas condições hidráulicas do corpo hídrico, ferimento ou morte de peixes e alterações no ecossistema sendo que vai depender de aspectos físicos, biológicos e geográficos do local de instalação (LAWS; EPPS, 2016b).

No Brasil se vem trabalhando com turbinas hidrocínéticas desde 1981 mediante pesquisas para o desenvolvimento e adaptação da tecnologia aos diversos contextos do país para eletrificação rural. As pesquisas foram realizadas por diversas universidades e instituições como o Instituto de Pesquisas da Amazônia - INPA, a Universidade de Itajubá - Itajubá, a Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ e a Universidade de Brasília - UnB. Sendo essa última que teve maior sucesso com a tecnologia mediante vários projetos para geração de energia em campo e elaboração de protótipos (ELS; BRASIL, 2015). Os projetos e protótipos da UnB foram desenvolvidos e adaptados para regiões como Amapá,

Bahia, Pará, São Paulo. A seguir é explicado de forma breve o desenvolvimento de turbinas hidrocínéticas no Brasil, e especificamente, pela UnB.

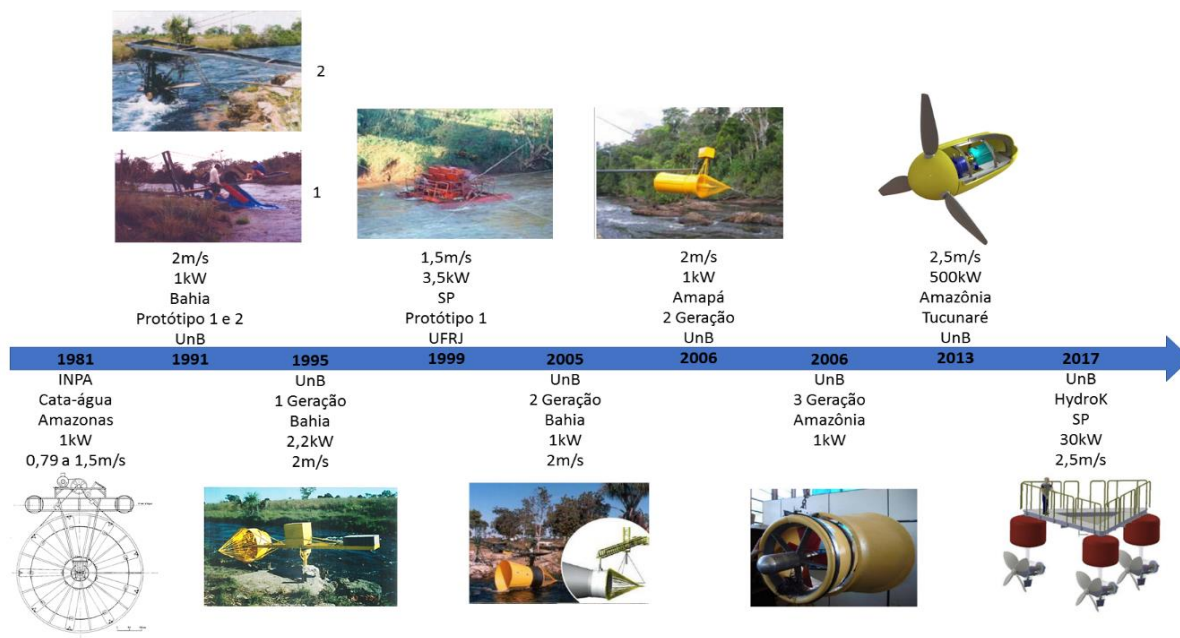
Em 1981 o INPA instalou no rio Solimões uma turbina hidrocínética conhecida como cata-água, protótipo para geração de energia elétrica de 1 kW com uma velocidade de 0,79 a 1,5 m/s. Contudo, essa turbina não teve aplicação em campo para nenhum projeto, só a modo de protótipo e pesquisa de tecnologia. Em 1991 o Departamento de Mecânica da UnB, atendeu a demanda de um médico interessado em levar energia elétrica para um posto de saúde no município de Correntina na Bahia, dessa forma desenhou e construiu vários protótipos de 1 kW potência para o rio Correntes que tinha 2 m/s de velocidade. Foram realizados diversos testes até que em 1995 foi construída a turbina Geração 1 com potência de 2,2 kW. Essa turbina atendeu as necessidades básicas para o posto de saúde ajudando a população local (ELS; BRASIL, 2015).

Em 1999 a UFRJ construiu e testou uma turbina no estado de São Paulo com potência de 3,5kW no rio Pirapó com 1,5 m/s de velocidade, mas o projeto foi para teste experimental e não usada em comunidades. Os testes da UnB continuaram aprimorando a tecnologia até que em 2005 foi construída a turbina Geração 2 com financiamento da Finatec, com potência de 1 kW que ficou em funcionamento no rio Corrente por uma década e parou de funcionar por falta de manutenção (Figura 10) (ELS; BRASIL, 2015 ; VAN ELS; DE SOUZA VIANNA; BRASIL, 2012 ; OLIVEIRA, 2016).

Em 2006 a UnB instalou a turbina Geração 2 no Amapá no rio Caraná para atendimento produtivo e escolar de uma comunidade de extrativistas, foi realizado com financiamento do Programa Luz para Todos. No mesmo ano foi desenvolvido o protótipo da turbina Geração 3 com potência de 1 kW para ser utilizada em rios amazônicos em parceria com a Eletrobrás, em 2013 novamente com essa instituição foi realizado o desenho da turbina Tucunaré para ser instalada no rio Tocantins na hidrelétrica Tucuruí, com potência de 500 kW e velocidade de 2,5 m/s. Finalmente em 2017 foi criada a turbina Hydro-K para gerar 30 kW e ser utilizada no rio Tietê com velocidade de 2,5 m/s, especificamente, na hidrelétrica com financiamento da AES Brasil (Figura 13). É importante mencionar que a turbina Geração 3 e Hydro-K foram construídas para experimentação, mas não instaladas para funcionamento em comunidades. A turbina Tucunaré não foi construída nem instalada até o momento no rio (ELS; BRASIL, 2015 ; VAN ELS; DE SOUZA VIANNA; BRASIL, 2012 ; OLIVEIRA, 2016 ; BRASIL et al., 2007b ; MAC DONALD, 2017).

O Laboratório de Energia e Ambiente – LEA da UnB é reconhecido mundialmente em relação a turbinas hidrocinéticas, pelos projetos tecnológicos que vem desenvolvendo para abastecer com o serviço de energia elétrica comunidades de difícil acesso no Cerrado e da Amazônia, como por exemplo Bahia e Pará.

Figura 13. Turbinas hidrocinéticas no Brasil



Fonte: Elaboração própria com dados de (ELS; BRASIL, 2015 ; VAN ELS; DE SOUZA VIANNA; BRASIL, 2012 ; OLIVEIRA, 2016 ; BRASIL et al., 2007b ; MAC DONALD, 2017).

2.6.4. Turbinas eólicas

A tendência geral no desenho de turbinas eólicas tem sido aumentar a altura da torre, o comprimento de pás e a capacidade de carga para aproveitar locais com baixa velocidade de vento. Estudos identificaram que o maior potencial no Brasil se encontra na região litoral do Nordeste, Sul e Sudeste. Sendo que atualmente existem várias usinas eólicas de grande porte funcionando no país localizadas no Nordeste, e outras menores em áreas rurais para usos agropecuários. No Nordeste e Sul pela diferença de pressão entre continente e mar se geram ventos mais fortes e constantes, o relevo com formas planas no sul e dunas no nordeste favorecem a instalação (FALANI et al., 2015 ; JUNIOR; RODRIGUES, 2015 ; MENDONÇA et al., 2019).

A energia eólica se origina da transformação da energia cinética do movimento de massas de ar em energia mecânica mediante um aerogerador com o giro de pás. Tem o mesmo princípio de funcionamento da turbina hidrocinética sendo que muda o meio no qual

está inserida. A quantidade de energia depende da densidade do ar, da direção e velocidade do vento e da área coberta pela rotação das pás (CARNEIRO; CARVALHO, 2015); (JUNIOR; RODRIGUES, 2015).

A velocidade do vento muda com a altura (perfil vertical do vento), a variação é nula na superfície do solo, acentuada em alturas próximas à superfície e pouco significativa a alturas próximas de 150 m. A avaliação do potencial eólico tem como primeira etapa a medição dos parâmetros com anemômetros, sensores de direção do vento, termômetros e barômetros para temperatura e pressão atmosférica e com higrômetros para determinar a umidade relativa do ar. A segunda etapa é realizada com modelos probabilísticos que inclui valores médios, desvio padrão e funções de distribuição, principalmente de Weibull, para representar curvas de frequência de velocidade (DI LASCIO; BARRETO, 2009); (CARNEIRO; CARVALHO, 2015).

Os componentes da turbina eólica são mecânicos e elétricos, os aerogeradores fazem a conversão eólio-elétrica e está composto pelo rotor, pás, eixos de baixa e alta velocidade, sistema de multiplicação, sistema de orientação, mecanismos de controle e gerador elétrico. O segundo componente é o nacelle e o terceiro é a torre (BARRETO et al., 2008); (GONÇALVES, 2015). A energia eólica é tecnicamente aproveitável quando a densidade do vento é maior ou igual a 500 W/m^2 , a uma altura de 50 m e uma velocidade de 3 m/s até 34 m/s, existem pesquisas que buscam gerar energia a partir de baixas velocidades (FALANI et al., 2015); (JUNIOR; RODRIGUES, 2015).

A opção eólica apresenta, conforme as condições de vento na região amazônica, uma aplicabilidade restrita porque poucas áreas têm vento abundante (BRASIL et al., 2007b). Possui altos custos iniciais e baixa competitividade para pequenos empreendimentos, em comparação com outras tecnologias. Os impactos ambientais identificados são visuais, sonoros, ocupação de áreas, desvio de rotas migratórias e mortes de aves, morcegos e insetos os quais vêm sendo pesquisados para diminuir a interferência na paisagem e no ecossistema (JUNIOR; RODRIGUES, 2015); (BARRETO et al., 2008).

2.6.5. Painéis fotovoltaicos

As tecnologias para aproveitamento da energia solar são duas, a heliotérmica e a fotovoltaica. A primeira utiliza espelhos denominados como coletores ou helióstatos, que acompanham a posição do sol durante o dia e centralizam os raios solares para um foco ou receptor mediante reflexão. O calor é transferido para um fluido absorvedor (óleos sintéticos,

sal fundido, água e ar). Os fluidos aquecidos são expandidos diretamente através de uma turbina, sendo que o processo a seguir a partir desse ponto tem a mesma fundamentação de uma termelétrica convencional (TOMALSQUIM et al., 2016).

A segunda capta a energia que provém da irradiação solar mediante células fotovoltaicas que geram corrente elétrica contínua. O efeito fotovoltaico é conhecido como a conversão direta de luz em eletricidade, se baseia na teoria de diodo de junção e os elementos que formam o dispositivo conversor se conhecem como fotoelementos. A baixa tensão e corrente de saída em uma célula fotovoltaica faz necessário o agrupamento de várias células para formar um módulo, as quais podem ser conectadas em série ou em paralelo sendo esse arranjo conhecido como FV ou gerador. Os materiais utilizados são elementos semicondutores fabricados geralmente em silício (SCHNEIDER, 2019); (BARRETO et al., 2008).

O sistema solar fotovoltaico tem três blocos básicos que são o gerador, o bloco de condicionamento de potência e o bloco de armazenamento. O primeiro é composto por painéis solares, cabos e estruturas de suporte. O segundo possui inversores e controladores de carga e o terceiro tem baterias (SCHNEIDER, 2019). Para determinar o potencial de geração de energia fotovoltaica é necessário ter dados de insolação que podem ser obtidos do Atlas Solarimétrico e das estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A potência gerada por um sistema fotovoltaico depende da radiação solar incidente e potência instalada, captada pelos módulos fotovoltaicos durante o período de máximo insolação.

São diversos os cálculos que devem ser realizados para implementar um sistema fotovoltaico, os quais apresentam-se no Quadro 6.

Quadro 6. Equações para cálculos de componentes do sistema

Componentes	Equação	Descrição
Potência do painel fotovoltaico	$\frac{P_m}{HSP * Red_1 * Red_2}$	Pm= potência do painel fotovoltaico (Wp); L= quantidade de energia consumida diariamente no mês (Wh/dia); HSP= horas de sol pleno no plano do painel fotovoltaico do mês (h/dia). Red1 e Red2 são fatores de redução com valores por default de 0,75 e 0,9 respectivamente
Número de módulos em série	$NMS = \frac{1}{2} \frac{Vsist}{Vmptmax}$	NMS= Número de módulos fotovoltaicos em série; Vsist= Tensão do sistema de armazenamento (V); Vmptmáx= Tensão de máxima potência para a maior temperatura prevista para o local ou região onde os módulos vão ser instalados (V).

Componentes	Equação	Descrição
Tensão de máxima potência	$v_{mp}T_{máx}$ ou $V_{mp}T_{mín} = V_{mp} \cdot [1 + \beta \cdot (T - 25)]$	V_{mp} = tensão de máxima potência do módulo fotovoltaico (V); T (°C) = máxima ou mínima temperatura de trabalho prevista para o módulo fotovoltaico (°C); β = coeficiente que relaciona a variação da tensão produzida em relação à temperatura do painel. O valor de Beta é diferente para cada modelo de módulo (decimal)
Corrente do painel	$I_m = \frac{P_m}{V_{sist}}$	I_m = corrente do painel fotovoltaico, A; P_m = potência do painel fotovoltaico (Wp);
Número de módulos conectados em paralelo	$\frac{I_m}{I_{sc} \cdot 1,25}$	I_m = corrente do painel fotovoltaico (A); I_{sc} = corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico (A)
Consumo em Wh/dia da edificação	$L = \left(\frac{L_{ca}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{inv}} \right)$	L= energia necessária diária (Wh/dia); Lca= quantidade de energia consumida diariamente em CA no mesmo mês (Wh/dia); η_{bat} = eficiência global da bateria (decimal); η_{inv} = eficiência do inversor (decimal).
Capacidade das baterias	$CB_{c20}(Wh) = \frac{LN}{Pd}$ $CBI_{c20}(Ah) = \frac{CB_{20}}{V_{sist}}$	CB20 = capacidade do banco de baterias para o regime de descarga de 20 horas (Wh); CBIC20=capacidade do banco de baterias (Ah); N= número de dias de autonomia; Pd= máxima profundidade de descarga da bateria (decimal); V_{sist} = tensão nominal da bateria (V).

O sistema de produção fotovoltaica admite o uso de equipamentos de uma ampla gama de potência alimentados por módulos solares, de forma individual ou agregada produzindo desde miliwatts até os quilowatts. A energia solar fotovoltaica possui vantagens como: vida útil dos módulos ultrapassa 25 anos e requerem pouca manutenção, não consome combustível, não produz poluição, é uma fonte inesgotável de energia, exige apenas a limpeza dos painéis, é resistente a condições climáticas extremas, permite aumentar a potência instalada mediante módulos adicionais, produz energia mesmo em dias nublados e é silencioso (OLIVEIRA; OLIVEIRA; GOMES, 2017).

No grupo de sistemas de geração elétrica renovável, os sistemas fotovoltaicos são considerados com alto custo de implantação por kW instalado e alto custo de geração pelo qual geralmente se localizam em comunidades com pequeno número de domicílios e alta dispersão, o rendimento real por módulo é baixo em comparação ao custo do investimento (SOARES; SILVA; GONÇALVES, 2007).

2.6.6. Turbinas para gaseificação, combustão de biomassa e biodiesel

A biomassa é uma fonte de energia encontrada abundantemente na Amazônia a partir de resíduos do extrativismo, da agropecuária e de resíduos de atividades madeireiras e não madeireiras. Os métodos de geração de energia a partir da biomassa são variados, neste item

serão explicadas a gaseificação e a produção de biodiesel. As rotas de conversão tecnológica da biomassa são termoquímicas e bioquímicas, nas termoquímicas se encontram a combustão, a gaseificação e a pirólise. As bioquímicas são biodigestão anaeróbia, fermentação e extração.

As tecnologias disponíveis para a conversão energética da biomassa em estruturas de pequeno porte são basicamente a caldeira, a turbina a vapor, o gaseificador, os motores alternativos de combustão interna ou turbina a gás (ALMEIDA, 2010). A avaliação da capacidade energética da biomassa se realiza mediante três procedimentos: determinação do poder calorífico para conhecer a quantidade de energia contida na biomassa; análise elementar para conhecer os percentuais em massa dos elementos C, H, O, N e S (Carbono, Hidrogênio, Oxigênio, Nitrogênio e enxofre) e cinzas presentes; e a análise imediata para saber os teores de umidade, voláteis, carbono fixo e cinzas (KUHL; OLIVEIRA, 2019).

A gaseificação é um processo termoquímico no qual um sólido ou líquido se converte em gás mediante a oxidação parcial. A biomassa é pré-tratada para diminuir o teor de umidade e se transforma em um gás resfriado e purificado que quando queimado gera gás ou se passa em um motor ou gerador vira energia elétrica, o gás pode ser queimado em turbinas a gás ou motores de combustão (KUHL; OLIVEIRA, 2019).

A tecnologia de ciclo a vapor para gerar energia elétrica é composto por 4 etapas, na primeira o fluido de trabalho é bombeado para aumentar a pressão, o fluido é aquecido para virar vapor saturado que a elevada pressão e temperatura é expandido em uma turbina até diminuir a pressão e temperatura, por último o fluido passa para o condensador a vácuo e se condensa a pressão constante para reiniciar o ciclo (TOMALSQUIM, 2016).

A digestão anaeróbia é a conversão de material orgânico em dióxido de carbono, metano e lodo mediante bactérias em um ambiente pobre em oxigênio. Esse processo está dividido em 4 fases que são a hidrólise onde a matéria orgânica complexa é quebrada em partes menores; a acidogênese onde os produtos da hidrólise são convertidos em substratos para metanogênese; a acetogênese que converte os produtos da acidogênese que não sofrem metanogênese direta; e a metanogênese que é a produção de metano dos substratos por bactérias anaeróbias (TOMALSQUIM, 2016).

Existe a possibilidade de usar os geradores a diesel com queima de óleos vegetais “in natura” ou uma mescla de ambos. As espécies utilizadas no Brasil são: mamona, dendê, girassol, colza, babaçu, amendoim, pinhão manso, soja, etc. Os motores devem sofrer um processo de conversão mediante kits como o fabricado pela empresa Elsbett. Também

existem motores fabricados para funcionar exclusivamente com esses óleos vegetais (KUHL; OLIVEIRA, 2019). Embora o biodiesel conte com uma indústria brasileira em desenvolvimento, os equipamentos são de grandes dimensões para atender empresas grandes e não para atendimento de pequenas comunidades, e nesse caso os equipamentos são geralmente importados (BARRETO et al., 2008).

Outra tecnologia é a produção de biodiesel mediante os processos de esterificação, transesterificação e craqueamento. A esterificação é realizada a partir de um ácido graxo mediante três etapas que são a reação de esterificação, a recuperação de catalisador e a purificação por destilação sem geração de resíduos. A transesterificação utiliza óleo vegetal mediante o processo de reação da transesterificação, separação de glicerina e purificação por lavagens e centrifugação, gerando como resíduos glicerina, sabões e efluentes. Já o craqueamento usa óleo vegetal ou gordura animal em um craqueador de aço inoxidável a altas temperaturas usando ou não catalisadores. Os vapores passam por uma torre de destilação fracionada com um sistema de fluxo e refluxo para separar e recuperar em diferentes pontos da coluna sem produção de glicerol (SEPÚLVEDA et al., 2008).

Contudo, para produzir biodiesel que atenda as especificações se deve utilizar um óleo vegetal com no máximo 1 % de acidez. O processo de potencial da biomassa se realiza com a análise de acidez para determinar o tipo de pré-tratamento e de processo de produção (KUHL; OLIVEIRA, 2019).

2.7. IMPACTOS AMBIENTAIS DE TURBINAS HIDROcinÉTICAS

A crescente necessidade de acesso a eletricidade fora da rede em áreas remotas, juntamente com os efeitos negativos dos geradores a diesel, está impulsionando a demanda por geração de energia a partir de fontes renováveis e sustentáveis. As turbinas hidrocínéticas em rios são uma dessas tecnologias ambientalmente sustentáveis que têm recebido crescente interesse por estudos científicos e aplicações reais de engenharia na última década (BADRUL SALLEH; KAMARUDDIN; MOHAMED-KASSIM, 2019). Os impactos ambientais potenciais de turbinas hidrocínéticas são mais estudados no ambiente marinho, enquanto nos rios ainda estão em desenvolvimentos. Os impactos podem ser analisados em termos de fatores de estresse ou tensão ambiental e fatores receptores ambientais.

Os estressores são definidos como fatores que podem causar tensão ou perturbação ao meio ambiente. No caso específico, acontecem quando os sistemas energéticos são

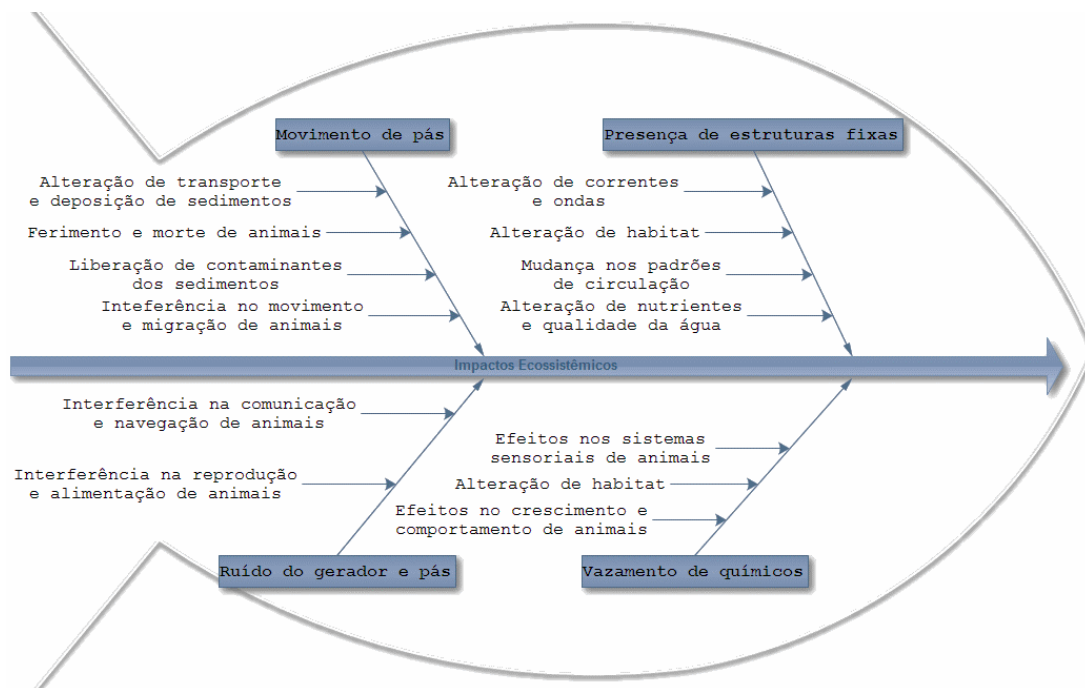
instalados, operados ou descomissionados. Já os fatores receptores são os elementos que podem ser afetados pela tensão ambiental (KILLEN et al., 2013 ; COPPING et al., 2014). A presença da turbina gera fatores de estresse ambiental no local de instalação, os fatores de estresse estão representados pela presença de partes fixas e móveis, compostos químicos, ruído e campos eletromagnéticos (NEW YORK STATE AND ENERGY RESEARCH AUTHORITY DEVELOPMENT, 2012 ; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY - DOE, 2009 ; KUMAR; SARKAR, 2016).

O fator de ruído se relaciona com o som produzido por turbinas hidrocínéticas composto por tons do gerador e emissões de banda larga da vibração da pá. A pressão sonora produzida por uma única turbina pode influenciar a presença de peixes no local, embora os efeitos sejam pequenos. Os sons produzidos por um dispositivo instalado no fundo são significativamente menores do que a maioria das outras fontes de ruído antropogênico em rios e baías. Estudos indicam baixa probabilidade de um efeito significativo no comportamento normal dos peixes ou danos fisiológicos (POLAGYE; MURPHY, 2015 ; SCHRAMM; BEVELHIMER; SCHERELIS, 2017 ; BEVELHIMER; DENG; SCHERELIS, 2016).

O fator de campos eletromagnéticos se refere ao gerador e os cabos subaquáticos utilizados para transmitir eletricidade entre turbinas, entre a matriz e um transformador submerso e do transformador ou matriz para a margem do rio. A corrente elétrica que circula pelos cabos gera campos magnéticos nas imediações, o que pode criar um campo elétrico secundário (RIJKSWATERSTAAT WATER, 2016). Os componentes químicos de turbinas hidrocínéticas são fluídos hidráulicos e óleos lubrificantes, tintas, metais dissolvidos ou compostos orgânicos (CENTRE FOR ECOLOGY & HYDROLOGY, 2007).

Os fatores de recepção são o ambiente físico, o habitat, os invertebrados, os peixes migratórios e residentes, as interações ecossistêmicas; e fatores socioeconômicos. Entre os fatores existem interações ecossistêmicas dos efeitos ou impactos. O ambiente físico, relacionado com a hidrodinâmica, sofre alterações na velocidade do fluxo, elevação da água, transporte e deposição de sedimentos, tamanho dos grãos e outras propriedades ou processos do rio (EME et al., 2019 ; WARD et al., 2010). Na Figura 14 são apresentados os impactos de turbinas hidrocínéticas em corpos hídricos e incluem os fatores anteriormente mencionados.

Figura 14. Possíveis impactos no ecossistema por turbinas hidrocinéticas



Fonte: elaboração própria a partir de (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2009); (CENTRE FOR ECOLOGY & HYDROLOGY et al., 2007).

O habitat é influenciado por alterações das velocidades da água; dos nutrientes e da qualidade da água; turbidez; transporte e deposição de sedimentos; presença de dispositivos fixos. A mobilização de sedimentos pode liberar contaminantes adsorvidos, o que representa uma ameaça à qualidade da água e aos organismos aquáticos (KAYGUSUZ; GU, 2010 ; SCHRAMM; SCHERELIS; BEVELHIMER, 2016 ; YUCE; MURATOGLU, 2015).

Também existem efeitos para organismos bentônicos e presentes na coluna d'água devido à eutrofização, hipóxia e efeitos na rede alimentar aquática. Os peixes podem ser afetados tanto pelos componentes móveis como fixos. A geração de ruído pode interferir com a reprodução, alimentação, evasão de risco, comunicação e navegação dos peixes, quando está em altos níveis. A toxicidade química pode causar bioacumulação, efeitos nos sistemas sensoriais, crescimento e comportamento dos peixes (KAYGUSUZ; GU, 2010 ; SCHRAMM; SCHERELIS; BEVELHIMER, 2016 ; YUCE; MURATOGLU, 2015 ; LAWS; EPPS, 2016a).

A ameaça de colisão ou emaranhamento, pode alterar potencialmente os movimentos locais e migrações de longa distância. Quando existe iluminação artificial nas estruturas durante a noite pode atrair animais (SCHRAMM; BEVELHIMER; SCHERELIS, 2017 ; KUMAR; SARKAR, 2016 ; AMARAL et al., 2011). A indústria de turbinas hidrocinéticas

ainda está em evolução, por esse motivo os impactos ecológicos não foram totalmente compreendidos. Esse contexto exige projetos mais eficientes em aspectos econômicos e ambientais, requerendo um esforço estratégico e colaborativo entre desenvolvedores, academia e setor público (LAWS; EPPS, 2016a).

Estudos de impactos ambientais estão sendo realizados em diversos países, principalmente para o ambiente marinho sendo a maior preocupação os efeitos das turbinas sobre animais marinhos (ZHANG et al., 2016). Como mencionado anteriormente, sobre rios existe pouca informação. Estados Unidos é o país com maior pesquisa da tecnologia hidrocínética para esse meio. Igualmente são eles quem têm trabalhado nos impactos ambientais focando nos peixes e nos sedimentos (GUNEY; KAYGUSUZ, 2010 ; (BRADLEY; EVANS; SEITZ, 2015 ; JOHNSON et al., 2013).

Não existe uma técnica específica para realizar os estudos de impacto ambiental e nenhuma das publicações revisadas tratam sobre turbinas hidrocínéticas em rios. No LEA têm sido realizadas pesquisas sobre os impactos ambientais e nelas vêm sendo utilizadas técnicas como *Checklist*, Matriz de Leopold e Simulação Computacional de Dinâmica de Fluidos – CFD para impactos em peixes, além de impactos sociais e em outros fatores ambientais.

A Matriz de Leopold é uma técnica criada em 1971 para avaliar os impactos de uma ação mediante uma tecnologia em um ambiente dado. Essa matriz é usada no contexto do objetivo, possibilidades tecnológicas, propostas de ação e alternativas, diagnóstico da situação ambiental, alternativas engenhareis, identificação de impactos e análise da magnitude e da importância, avaliação do impacto e recomendações. A análise é realizada mediante uma matriz que inclui no eixo X as ações que podem causar impactos e no eixo Y as condições ambientais que podem ser afetadas. Mostra as interações que ajuda aos pesquisadores a identificar alternativas que podem causar menos impacto. A forma mais eficiente de usar a matriz é verificar cada ação em termos de magnitude e importância dos efeitos sobre as características ambientais (LEOPOLD et al., 1973).

As ações podem ter um grande impacto a curto prazo por um ano ou mais, que são melhoradas em poucos anos e de menor significância em um longo prazo. Na matriz deve-se indicar se está sendo avaliado um impacto a curto prazo ou longo prazo. A avaliação da significância e magnitude é realizada em uma escala de 1 a 10 onde 1 é o menor e 10 é o maior. O próximo passo é avaliar os números que foram colocados nas caixas de magnitude (parte inferior) e importância relativa (parte superior) (LEOPOLD et al., 1973).

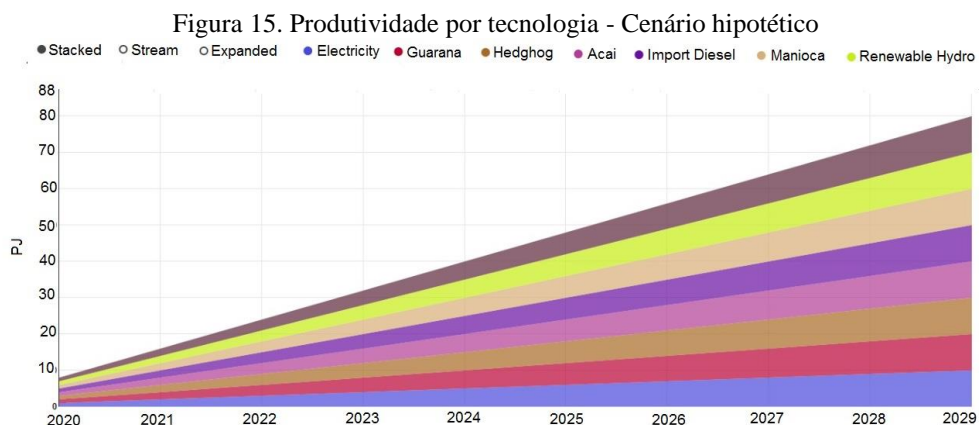
2.8. MODELAGEM ENERGÉTICA

No mundo existe um conjunto útil, mas limitado de modelos de sistemas energéticos que exigem investimentos significativos de recursos humanos, treinamento e compra de *software* para poder ser utilizados. Sistemas estabelecidos no mundo para simulação de sistemas energéticos integrados são MARKAL/TIMES, MESSAGE, PRIMES, POLES, entre outros (HOWELLS et al., 2011). O Sistema de Modelagem de Energia de Código Aberto (*Open Source energy MOdelling SYStem* - OSeMOSYS) é uma alternativa, esse *software* otimiza sistemas para planejamento de energia a longo prazo. Precisa de menos tempo de aprendizado e de operação, não usa *software* proprietário ou linguagens de programação e solucionadores comerciais (HOWELLS et al., 2011).

O OSeMOSYS é uma ferramenta de modelagem de otimização linear de modelagem de sistemas de energia para análises de longo alcance para desenvolver cenários (GARDUMI et al., 2018). É um aplicativo desenvolvido por diferentes organizações internacionais de renome, como o *Royal Institute of Technology* (KTH) na Suécia em colaboração com outras instituições. O código pode ser consultado *on-line*, e a interface e o solucionador podem ser baixados da Internet. Esse modelo calcula o conjunto de suprimento de energia, em termos de capacidade de geração e fornecimento, que atende às demandas do serviço ao longo dos anos e em todas as etapas do caso em estudo (OSEMOSYS ORG, 2018).

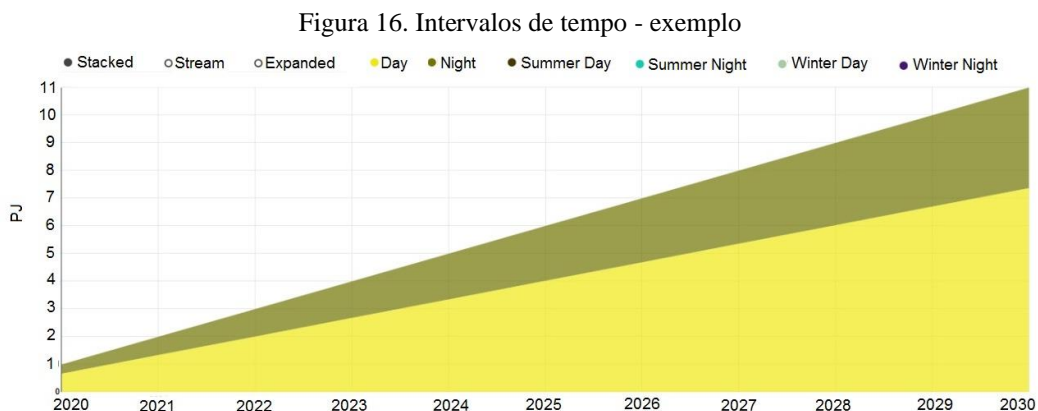
Na Figura 15 se ilustra um cenário hipotético no qual a contribuição de cada fonte energética é proporcional. Esse cenário permitiria diminuir o preço do sistema projetado devido à tecnologia, principalmente das renováveis cujo valor é em dólar e distribuir a produtividade medida em PJ – Petajoule¹¹.

¹¹ Um petajoule equivale a 10^{15} joule.



Fonte: elaboração própria para exemplificar

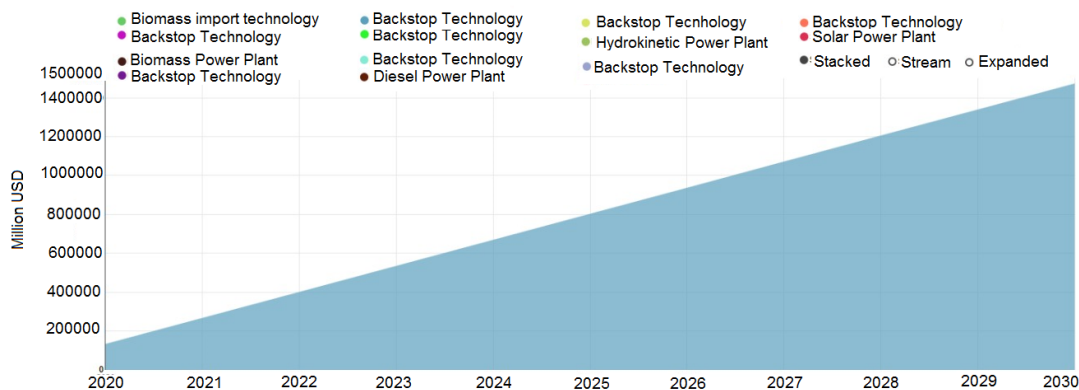
Na Figura 16 se encontram os intervalos de tempo de cada ano ou *timeslices* que são utilizados para a modelagem da demanda anual em PJ. No exemplo se mostra uma maior demanda durante a noite.



Fonte: elaboração própria para exemplificar

Na Figura 17 se apresenta um exemplo de capital de investimento em um sistema com tecnologias e os *backstops* que são consideradas barreiras econométricas na produção de energia elétrica com tecnologias que apresentam altos custos. Nessa figura é analisado o investimento por ano. No exemplo apresentado as tecnologias têm um custo elevado e por isso entrou o *backstop*.

Figura 17. Capital de investimento por tecnologia



Fonte: elaboração própria para exemplificar

O OSeMOSYS trabalha por cenários que são uma descrição coerente de uma situação futura e que mostra possíveis sequências de acontecimentos gerando diferentes estados finais para antecipar ações e decisões que possam ser necessárias. O objetivo é identificar situações que podem ocorrer e que demandam respostas dos planejadores, assim quanto maior a capacidade de identificação das soluções e mais rápidas as respostas, menores os impactos não desejados. A técnica de cenários é uma ferramenta de antecipação de futuros, suas incertezas e suas inter-relações determinam a trajetória de variáveis sociais, econômicas, financeiras, ambientais, energéticas, entre outras, e no planejamento energético essa técnica se aplica na prospecção da oferta e demanda de energia (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

A matriz energética é um instrumento para simular diferentes cenários de mercado e avaliar seus efeitos: gargalos de infraestrutura, vulnerabilidades sistêmicas, riscos ambientais, oportunidades de negócios, impactos de políticas públicas etc. A Matriz Energética Brasileira 2030, considera a tendência mundial de crescimento populacional e o comportamento evolutivo da população brasileira, reflete o Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030 que consolida estudos sobre a expansão da oferta e da demanda de energia no Brasil nos próximos 25 anos (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

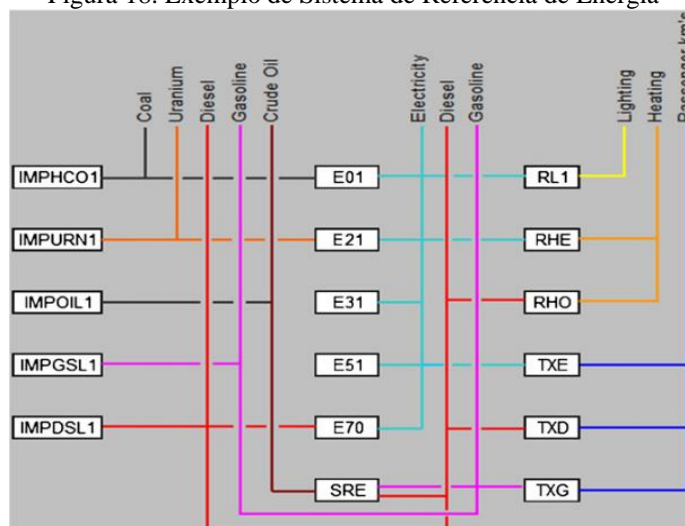
O método de cenários permite desde a confecção de cenários mundiais até de cenários particulares de oferta ou de tecnologias, significando um exercício de planejamento estratégico de longo prazo. O método básico delinea-se pela geração de jogos de simulação para posterior tomada de decisão. Tais jogos combinam fatos conhecidos sobre o futuro, tais como demografia, geografia, arranjos sócio-políticos, análise institucional, recursos a

disposição e infraestrutura com alternativas plausíveis, consideradas forças diretoras do cenário (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

Quando se desenvolve um modelo no OSeMOSYS se mapeia o sistema de energia para identificar as fontes e as tecnologias relevantes para atender uma demanda final e por isso o Sistema Referencial de Energia (SRE) pode ser considerado uma tabela com dados ou uma abstração gráfica do sistema a ser modelado para mostrar o processo de movimentação de energia ao longo do tempo em relação à demanda e aos recursos naturais disponíveis que serão transformados posteriormente (HOWELLS et al., 2011). Na criação do modelo são considerados tempo de modelagem, fontes energéticas, demandas de energia em relação a cada fonte energética, perfil temporal da demanda, tecnologia e verificação dos resultados por tecnologia implementada (LÖFFLER et al., 2017).

Na Figura 18 se apresenta um exemplo de SRE utilizado no artigo de Howells et al, (2011), nele uma região apresenta três demandas de energia sendo elas: iluminação, aquecimento e transporte. A iluminação é atendida pelo estoque de lâmpadas (RL1); aquecimento por aquecedores elétricos (RHE) ou a óleo (RHO); e transporte por três tipos diferentes de veículos: elétrico (TXE), diesel (TXD) ou gasolina (TXG). Para gerar eletricidade, estão disponíveis estações de energia: carvão (E01), nuclear (E21), hidro (E31), bombeamento (E51) e diesel (E70). Urânio (IMPURN1), carvão (IMPHCO1), diesel (IMPDSL) e gasolina (IMPGSL1) são importados, esses dois últimos podem também ser produzidos por uma refinaria (SRE - não é o sistema referencial de energia) que converte o petróleo bruto importado (IMPOIL1).

Figura 18. Exemplo de Sistema de Referência de Energia

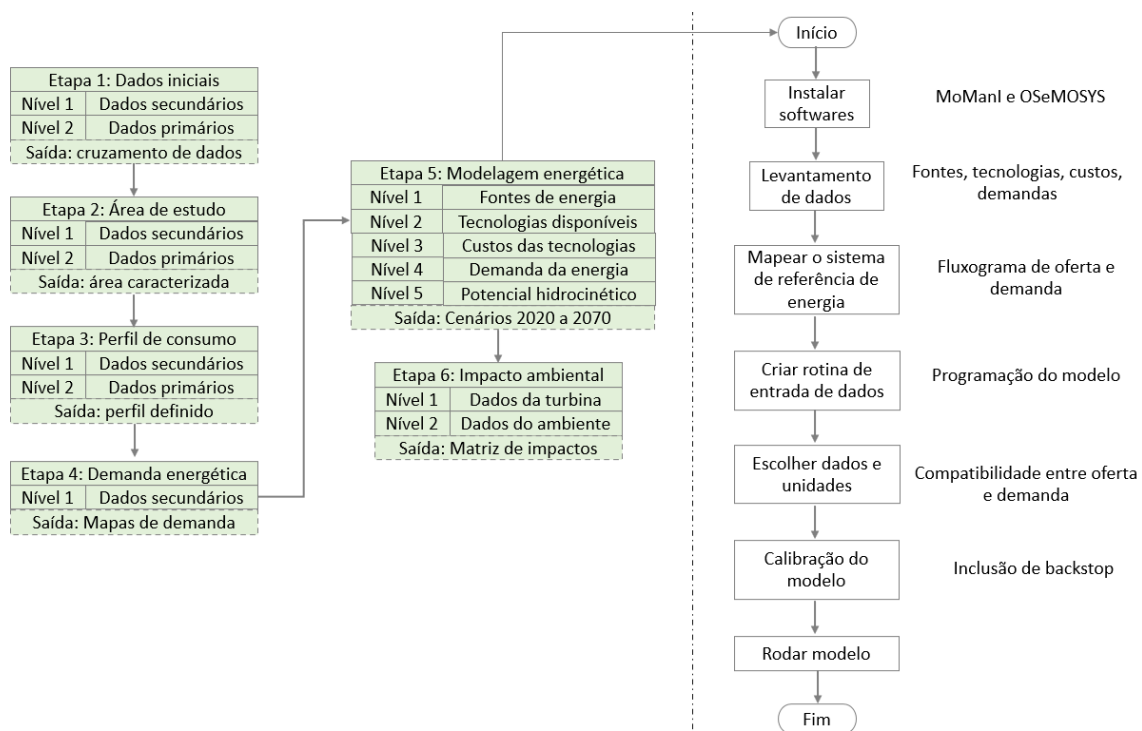


Fonte: (HOWELLS et al., 2011).

3. METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos a metodologia utilizada teve abordagem qualitativa e quantitativa com uso de dados primários e secundários. Na Figura 19 aparece um fluxograma da metodologia, indicando que a pesquisa foi desenvolvida em 5 etapas: levantamento de dados iniciais, delimitação e detalhamento da área de estudo, elaboração do perfil da demanda das comunidades da Amazônia Ocidental, estimação da demanda de energia elétrica, modelagem energética e determinação do impacto ambiental da turbina hidrocinética no rio Negro.

Figura 19. Fluxograma da metodologia



Fonte: elaboração própria

Nas próximas subseções são explicadas a população, estudo de caso demonstrativo, coleta de dados e tratamento, modelos e técnicas de análises.

3.1. POPULAÇÃO E AMOSTRA

A população analisada nesta pesquisa foram as comunidades rurais da Amazônia Ocidental (AC, AM, RO e RR) que incluem assentados, extrativistas, quilombolas, indígenas, ribeirinhos, entre outras, com menos de 25 % de acesso à energia elétrica. Conforme dados do Censo de 2010 esse contingente populacional são 396.281 pessoas localizadas na área rural, e é importante mencionar que não existe outra fonte de informação completa ao respeito mais recente. Foi selecionada a comunidade indígena de Cabari, localizada no município de São Gabriel da Cachoeira no estado do Amazonas, segundo o IBGE esse município tem uma população rural de 22.035 habitantes. Foi realizada uma visita de campo no mês de abril em 2018 ao município na área urbana e rural. Nesta última visitaram-se sete comunidades, mas só se teve contato direto com uma delas, a de Cabari, essa comunidade está composta por 27 famílias com média de 10 pessoas e um total de 267 habitantes. Com base no observado no local, aprofundaram-se informações socioeconômicas da população, biofísicas de potencial hidrocínético e de impacto ambiental.

Na Figura 20, aparece uma foto por satélite da comunidade e a distribuição das casas próximas da margem do rio e áreas de roça.

Figura 20. Comunidade de Cabari no município de São Gabriel da Cachoeira



Fonte: localização a partir de visita de campo e imagem do google Earth

3.2. COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

Os dados foram levantados em instituições públicas, repositórios de universidades, jornais e sites de organizações privadas sobre características das comunidades rurais da Amazônia Ocidental, tecnologias e fontes para geração de energia elétrica na região que incluíam textos, shapes¹² e mídias digitais, como vídeos disponíveis em Youtube, elaborados e postados por instituições ou pessoas. As instituições foram o Centro Nacional de Referência em Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos – CERPCH, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, a Eletrobrás, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a Fundação Nacional do Índio - FUNAI, o Ministério de Meio Ambiente, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, a Agência Nacional de Águas – ANA, o Instituto Socio Ambiental – ISA, o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e o Laboratório de Energia e Ambiente – LEA da Universidade de Brasília. Os dados foram analisados a nível de setor censitário¹³, considerado como a mínima unidade de análise por estado, nesse caso AC, AM, RO e RR. Obtiveram-se dados sobre domicílios particulares permanentes e população na área rural.

Os shapes que não estavam no Datum Sirgas 2000 foram reprojetados e as tabelas em formato CSV foram convertidas em arquivos XLSX para ser utilizadas nos softwares ArcGIS e Qgis. Os valores de população eram do ano 2010 pelo qual ajustaram-se com a taxa de crescimento populacional de 2011 a 2019 por estado para ter dados atualizados. Igualmente os dados foram padronizados em termos de unidades e separação em formato americano para usar no modelo do OSeMOSYS.

A visita de campo foi realizada por dois pesquisadores do LEA, incluída a autora, a convite do ISA para verificar a possibilidade de instalação de turbinas hidrocínéticas nas comunidades indígenas ribeirinhas de São Gabriel da Cachoeira localizadas às margens do Rio Negro, já que não possuem acesso à energia elétrica e a sede urbana do município é atendida por uma usina termelétrica. A visita aconteceu em abril de 2018 com duração de dez dias, durante os quais se realizou o levantamento no rio de profundidade e velocidade em sete locais próximos as margens de seis comunidades. Sendo que a única com a qual a

¹² Arquivo digital que representa uma feição ou elemento gráfico.

¹³ O setor censitário é a menor unidade territorial com área contínua, integralmente incluída em uma área urbana ou rural, com dimensão apropriada para a realização de pesquisas assegurando plena cobertura do país (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2011).

equipe teve contato direto foi a de Cabari, por ter sido selecionada previamente pelo ISA, com ajuda da Federação de Organizações Indígenas do Rio Negro – FOIRN.

O percurso do levantamento foi desde a sede do município de São Gabriel da Cachoeira até a comunidade Tawá, com distância de aproximadamente 50 km de rabetá, como ilustrado na Figura 18. Em ordem crescente de distância da sede encontram-se São Sebastião, Cabari, São Luís, Ilha das Flores, Bauari e Tawá, todos os pontos visitados foram referenciados no GPS para posterior localização em mapas e no google Earth (Figura 21).

Figura 21. Mapa de percurso realizado São Gabriel da Cachoeira



Fonte: elaboração própria no google Earth com base em dados levantados

A visita permitiu verificar a viabilidade de instalação de turbinas e conhecer as características físicas do município e socioeconômicas da população. Contatou-se a Federação das Organizações Indígenas do Rio Negro – FOIRN, a Secretaria de Meio Ambiente da prefeitura, funcionários da usina termelétrica, a comunidade de Cabari e o exército para tratar sobre a geração de energia elétrica no município e em comunidades rurais. Em nenhum momento foram aplicadas entrevistas e o levantamento de dados aconteceu mediante reuniões e observação direta já que era o previamente estabelecido pelo ISA, a FOIRN e a comunidade de Cabari.

3.3. TÉCNICAS DE ANÁLISE

Para a elaboração dos mapas de demanda utilizaram-se *shapes* de Terras Indígenas (TI), assentamentos de reforma agrária (ARA), quilombos (QLB), unidades de conservação (UC), setor censitário (SCT) e rios (RI). Os *softwares* utilizados para a sobreposição dos *shapes* foram o QGIS versão 3.4.8 e o ArcGis versão 3.0.

O primeiro passo foi encontrar os *shapes* de setor censitário por município nos quatro estados e as tabelas em excel com dados de domicílios e moradores. Os domicílios foram separados mediante tabelas dinâmicas gerando quatro quantis ou grupos, ou seja, domicílios que não tinham acesso à energia elétrica em cada setor assim: de 0 a 25 %, de 26 a 50 %, de 51 a 75 % e de 76 a 100 %. Com base nessa informação, se considerou que o grupo com menos de 25 % de energia seria o alvo de estudo.

Uma vez identificados quais eram os domicílios com menos de 25% de energia elétrica, quantidade e localização foi gerado o *shape* para ser sobreposto com os outros *shapes* (TI, QLB, ARA, UC e RI). Dessa forma foi elaborado um mapa por estado com localização e dados de grupos de comunidades nos quatro estados. O mapa também permitiu cruzar bases de dados com quantidades e características dos moradores dos setores selecionados.

Essa informação permitiu determinar o consumo e demanda para a Amazônia Ocidental e para São Gabriel da Cachoeira. Essa informação também foi usada para a elaboração da modelagem energética, na qual se usou o software OSeMOSYS com dados sobre biomassa, hidrológicos e irradiação solar.

O potencial hidrocínético do rio Negro para as seis comunidades foi calculado com base em dados coletados durante a visita de campo da equipe e comparados pela autora com dados obtidos em literatura de estações fluviométricas da ANA. Conforme Barreto (2004) os parâmetros físicos mínimos necessários para instalar uma turbina hidrocínética em um rio, são em ordem de importância: velocidade de 1 m/s, profundidade de 1,5 m, declividade de 0,16 % e vazão média de 5 m³/s. isso significa que são as condições mínimas para que um empreendimento com instalação de turbina hidrocínética gere energia. Esses parâmetros foram verificados na comparação entre os dados obtido em campo e os secundários indicando que os locais cumprem os requisitos mínimos. Os métodos usados para determinar potencial incluíram a elaboração do mapa hipsométrico de São Gabriel da Cachoeira,

levantamento de dados secundários, primários e a aplicação de equações apresentadas anteriormente.

Os impactos ambientais avaliados referem-se à possível instalação de uma turbina na margem do rio Negro na comunidade de Cabari. As técnicas de avaliação foram a Matriz de Leopold e listas de verificação. As listas elaboraram-se com base em publicações do Departamento de Energia dos Estados Unidos – DOE, 2009 e o Centro para Ecologia e Hidrologia – CEH, 2007. Incluíram possíveis alterações ou mudanças devido ao uso de uma turbina hidrocínética de 1 kW, e que foram apresentadas no referencial teórico, as fases no processo de geração de energia elétrica com a turbina foram quatro (prévia que inclui preparação da área, instalação que abrange a construção do sistema de ancoragem e colocação do equipamento na água, operação do equipamento e finalmente descomissionamento que acontece quando se retira o equipamento da água porque vai ser trocado de local ou porque não vai ser mais usado).

A Matriz de Leopold foi criada em 1971, é uma matriz bidimensional simples que relaciona as ações de um projeto a fatores ambientais. Cruza 88 componentes ambientais (fatores) e 100 ações com potencial de alterar o ambiente, resultando em 8.800 quadriculas, sendo que cada uma delas são preenchidas com algarismos entre 0 e 1 que determinam magnitude e importância do impacto. Onde 1 representa a menor magnitude e de menor importância e o 10 os valores máximos. O sinal positivo (+) ou negativo (-) na frente dos números significa se o impacto é benéfico ou adverso (GONDIM et al., 2016).

A matriz analisou dimensões do meio ambiente e incluía aspectos biológicos, físicos, químicos, sociais, econômicos e culturais. As fases foram implantação, funcionamento, monitoramento e descomissionamento da turbina hidrocínética. A interação analisou-se de forma qualitativa e quantitativa para determinar o impacto em termos de magnitude e importância em cada dimensão como apresentado na Figura 22.

Figura 22. Análise qualitativa e quantitativa dos impactos mediante a Matriz de Leopold

Aspectos avaliados	Previa		Instalação			Operação						Descomis.			
	Determinação do potencial hidrocinético	Análise de batimetria	Construção e deslocamento dos componentes da máquina	Construção do deck	Ancoragem do conjunto turbina	Ruídos	Toxicidade por tintas e outros produtos químicos	Movimento das pás e do rotor	Contaminação por lubrificantes e óleos	Geração de campos eletromagnéticos	Cumulação da energia gerada pela turbina	Retirada da ancoragem	Retirada da turbina		
Características físicas e químicas	Terra	Alteração do fundo do leito por incremento de depósito de sedimentos	0	0	3	3	3	0	3	4	3	0	0	3	3
		Alteração do solo da margem do rio	0	0	0	-4	-4	0	-3	-4	-1	0	0	-4	-4
	Água	Alteração do nível da água	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
		Alteração da qualidade	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
		Suspensão de sedimentos e contaminantes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Alteração de habitats aquáticos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Processos	Alteração do fluxo da água	0	0	0	3	0	0	4	0	0	0	0	3	3	
	Alteração de sedimentação	0	0	0	-3	-2	0	-5	-7	-5	0	0	-4	-4	
Condições biológicas	Flora	Alteração de árvores	0	0	0	3	0	0	4	6	4	0	0	1	0
		Alteração de vegetação herbácea	0	0	0	-3	-2	0	-5	-7	-5	0	0	-2	-2
		Alteração de plantas aquáticas	0	0	0	3	0	0	4	0	0	0	0	3	3
	Fauna	Alteração de habitats aquáticos	0	0	0	-3	0	0	-4	-4	-4	-4	0	-3	-3
		Danos a aves aquáticas	0	0	0	3	3	2	6	6	3	2	0	2	2
		Danos a peixes	0	0	0	-4	-3	-2	-6	-7	-3	-3	0	-3	-3
		Danos a organismos bentônicos	0	0	0	4	2	4	6	7	3	4	0	3	3
		Danos a organismos bentônicos	0	0	0	-4	-3	-2	-6	-7	-3	-3	0	-4	-4
	Conservação	Danos a organismos bentônicos	0	0	0	3	3	2	6	6	3	2	0	2	2
		Alteração de áreas de reserva	0	0	0	-4	-3	-2	-6	-7	-3	-3	0	-3	-3
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

3.4. MODELO OSeMOSYS

O modelo é caracterizado por uma definição de tecnologia ampla e flexível. Uma tecnologia compreende qualquer uso de combustível e conversão, de extração e processamento de recursos para geração, transmissão e distribuição. A tecnologia pode ser definida para consumir e produzir qualquer combinação de combustíveis. Cada tecnologia é caracterizada por vários parâmetros econômicos, técnicos e ambientais. Os modelos OSeMOSYS incluem um arquivo de modelo e um arquivo de dados (HOWELLS et al., 2011).

No presente modelo as biomassas utilizadas foram as mais importantes dos quatro estados, sendo dois deles do extrativismo: açaí e castanha-do-Brasil e os outros dois culturas: guaraná e mandioca. Para todas foi pesquisada e calculada produção por ano, área de produção e poder calorífico do resíduo, já que o intuito era usar todo aquilo que é jogado fora após extrair o produto principal.

A tecnologia selecionada para a biomassa foi a gaseificação, por ser uma tecnologia conhecida no país e pesquisada por diversas instituições de ensino. Também porque existem experiências de eletrificação em comunidades rurais da Amazônia com a mesma.

Para a fonte solar, embora existam outros tipos de tecnologia como as heliotérmicas, a tecnologia selecionada foram painéis fotovoltaicos pela facilidade de compra e de

instalação, igualmente existem experiências de eletrificação rural com essa tecnologia na região.

Para a fonte hídrica a tecnologia selecionada foram turbinas hidrocínéticas por ser de fabricação nacional e devido às características geográficas da região amazônica como baixas quedas. Os geradores a diesel selecionaram-se por ser uma tecnologia utilizada por décadas na região e com a qual as comunidades estão familiarizadas. A fonte eólica não foi considerada porque os ventos são restritos a poucas áreas na Amazônia Ocidental. É importante ressaltar que cada tecnologia apresenta suas especificidades para inserção no modelo.

Para a modelagem de energia solar as principais variáveis utilizadas são o fator de capacidade (FC) e o fator de disponibilidade (FD). Para a energia hídrica as principais são FC e unidade possível de produção em um ano (UPP). Na biomassa é um fator condicionante a área agricultável (AG) e o tempo de cada cultura (TC), ambos relacionados com a entrada de matéria prima no sistema para a geração de uma unidade de potência; e por fim para a energia gerada pelo diesel, que é adquirido fora das comunidades, as variáveis são o custo capital (CC) (HOWELLS et al., 2011).

Parâmetros utilizados na modelagem energética são: demanda anual específica, perfil da demanda específica, taxa de entrada de atividade, taxa de atividade de saída (produção), capacidade anual total máxima, capacidade de investimento total mínima e custo de capital fixo e variável.

A demanda anual específica é o total especificado demanda para o ano, enquanto o perfil de demanda específico é definido como fração anual do serviço de energia ou combustível demanda necessária em cada *time slice* ou período de tempo. A taxa de atividade de entrada refere-se à taxa de entrada (uso) de combustível para uma tecnologia, é igual à produção de uma tecnologia. Enquanto a taxa de atividade de saída (produção) é definida como a taxa de produção de um combustível. A capacidade anual total máxima é o nível de capacidade. Já a capacidade de investimento total mínima são investimentos limitados a um determinado nível a cada ano. Finalmente o custo de capital fixo é o custo por unidade de capacidade da tecnologia, enquanto o custo variável é o custo por unidade de atividade (para um determinado modo de operação) da tecnologia (HOWELLS et al., 2011).

Os tipos de demanda considerados para a Amazônia Ocidental e para a vila indígena de São Gabriel da Cachoeira foram: residencial, produtiva (inclui pequenos empreendimentos produtivos e comerciais como produção de farinha, artesanato, fabricação

de gelo, preparação de doces, etc.), e comunitária que inclui iluminação pública, além de outros serviços (igreja, escola, posto de saúde, abastecimento de água e centro comunitário). É importante mencionar que na literatura não existe uma separação da demanda nos três tipos mencionados anteriormente, os quais foram categorizados nesta pesquisa. Igualmente que não existem informações sobre quantidade de demanda nessas categorias na literatura pelo qual foram calculadas com base na proposta da ONU sobre *tiers*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. USO E DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA DAS COMUNIDADES RURAIS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL

4.1.1. Perfil de consumo das comunidades rurais da Amazônia Ocidental

A demanda de energia para a Amazônia Ocidental não é só para uso residencial, mas também para uso produtivo e comunitário. Atualmente as comunidades conseguem mediante geradores a óleo diesel, ou placas fotovoltaicas, em Sistema Individual de Energia Elétrica com Fonte Intermitente - SIGFI ou Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica - MIGDI gerar energia elétrica de forma intermitente nas suas residências.

Contudo, os programas de universalização de acesso à energia, como o Luz para Todos, visam o atendimento do consumo mínimo residencial e não se preocupam com os outros usos. Em pesquisa realizada por Reis Junior em 2015, no estado do Amazonas, em três comunidades ribeirinhas, constatou-se que 85 % dos moradores faziam uso doméstico da energia elétrica e 15 % a utilizavam para atividades de produção agropecuária e comercial. Os equipamentos mais utilizados após a instalação de energia elétrica nos domicílios foram televisão, ventilador, geladeira, máquina de lavar, freezer, liquidificador, antena parabólica, aparelho de som, lâmpada PL, entre outros (JUNIOR, 2015).

Em livro publicado por Di Lascio e Barreto em 2009, menciona-se que no Manual de Operacionalização do Programa Luz para Todos encontra-se previsto que a potência instalada de transformação, por unidade consumidora não pode ultrapassar 15 kVA de potência, exceto em casos especiais de uso comunitário, como poço, escola e centro comunitário quando justificado. O autor afirma que existe um claro limite de potência estipulado pelo Programa, que instala um transformador de 15 kVA para o atendimento de todos os domicílios, com energia insuficiente para fomentar o desenvolvimento da comunidade (DI LASCIO; BARRETO, 2009).

O uso e demanda de energia elétrica são influenciadas por fatores técnicos, gerenciais, psicológicos, geográficos, demográficos, socioculturais e econômicos, os quais atuam em conjunto (MORANTE; ZILLES, 2004).

As informações obtidas em fontes secundárias e primárias nesta pesquisa permitiram a elaboração de um esquema que descreve a relação da população com o território na

Amazônia Ocidental. E que se relaciona com os fatores apontados por autores como Morantes e Zilles, e que se dividiram como internos e externos. Assim, os que estão no interior dos limites do mapa são características endógenas e os que estão fora são as exógenas, sendo que existe uma interação entre ambos, no qual o rio age como eixo transversal. Fatores geográficos como o rio, as estações, ecossistemas (terra firme e a várzea) com seus recursos, determinam fatores psicológicos, demográficos, socioculturais e econômicos. Já os fatores exógenos têm a ver com os fatores técnicos, gerenciais e econômicos das tecnologias implementadas por instituições públicas e privadas nessas comunidades.

As características internas são o rio, as estações, os ecossistemas de terra firme e várzea e os recursos naturais associados. A cultura das populações que inclui as famílias numerosas e com predominância de jovens e crianças, os mitos e lendas, suas crenças religiosas, seu pertencimento ao território. Suas atividades econômicas agropecuárias e extrativistas e alimentação baseada em mandioca, açaí, peixe e carnes de caça.

As características externas são as transferências de renda do governo para complementar a condição de vida das comunidades, o vínculo que tem com a cidade e com o Estado porque, não todos possuem documentos que os incluam nas estatísticas como cidadãos. O qual vem mudando mediante o Cadastro Único, obrigatório para aceder aos programas do Estado.

Características marcantes das comunidades ribeirinhas são determinadas pelo seu modo de reprodução vinculado com as florestas e os rios para suas atividades de geração de renda e consumo familiar, além dos benefícios de transferência de renda do governo federal (ARAÚJO, 2014).

Em reservas de desenvolvimento sustentável a vida social é regulada notadamente pela variação sazonal da elevação do nível dos rios. Existe uma pirâmide etária predominantemente jovem com idades entre 10 a 24 anos com continuidade das atividades realizadas pela família com o intuito de manter seu estilo de vida e a posse do território (RUZANY et al., 2012).

Os usos residencial, produtivo e comunitário são apresentados no esquema da Figura 23, demonstrando que o uso produtivo é para atividades individuais e coletivas de artesanato, turismo e valor agregado à produção das roças e do extrativismo. O uso residencial é destinado para iluminação, conforto térmico, lazer, educação, segurança e comunicação. E

o uso comunitário para educação, saúde, organização política e social, cultura e saneamento básico.

Esse resultado é condizente com a pesquisa de 2015 realizada por Reis Junior que mostrou, mediante entrevistas, que em comunidades com presença de energia elétrica houve elevados níveis de consumos de energia nos domicílios. No casos das atividades domiciliares e comércio variaram de 81 e 180 KWh/mês (JUNIOR, 2015).

Figura 23. Principais características das comunidades na região da Amazônia Ocidental



Fonte: elaboração própria com base em literatura e visita de campo

Durante visita de campo na comunidade de Cabari observou-se que o pastor convidou para a reunião um grupo de pessoas, composta por adultos, jovens e crianças que acompanharam as diversas atividades. Foi notório o uso do idioma Baniwá e português para comunicar-se entre eles durante a reunião.

Na visita também se observou que a distribuição espacial das casas e próxima da margem do rio, que existem atividades produtivas na roça, consumo de suco de açaí e farinha de mandioca. Os moradores informaram a diminuição de peixes no rio e suas viagens à cidade para receber a Bolsa Família.

Igualmente explicaram que possuem um gerador a óleo diesel de 30 Kva, que usam só em momentos especiais devido ao alto custo do diesel na região. Foi mencionado pela comunidade que existe a necessidade de possuir outra fonte de geração de energia diferente do gerador.

Projeto realizado na região do Xingu, pelo Instituto IEMA, com comunidades indígenas para instalação de pequenos sistemas fotovoltaicos, em 2019, indicou que as comunidades evidenciaram mudanças com a maior oferta de energia elétrica. Porque ampliou o uso de pequenos equipamentos (celulares e lanternas), facilitou atividades educativas como o ensino noturno. Maior sensação de segurança para possíveis atendimentos médicos de urgência e preferência pela energia solar à gerada com gerador a óleo diesel devido ao ruído e não precisar comprar combustível (INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2019).

A Figura 24 mostra paisagens típicas observadas durante a visita a campo, como o transporte de produtos, alimentos, combustível e pessoas em canoas e rabetas. A canoa é utilizada para percursos curtos ou para pesca. As atividades domésticas são realizadas por mulheres e crianças no rio porque não existe água encanada. Isso mostra, que o rio é um eixo transversal da vida das populações e que existe um rol definido para as mulheres, que nesse caso são as atividades do lar junto com as crianças, além de atividades na roça.

Essa situação das mulheres e da cotidianidade amazônica é reafirmada por Pontes, Ribeiro e Nascimento em 2012, que mencionam que o meio de transporte mais utilizado é o barco, voadeira e rabeta. Em boa parte das comunidades amazônicas as mulheres estão vinculadas a diversos afazeres como criação de roçados, elaboração de farinha, busca de madeira e água, entre outras, além de cuidar das crianças e atividades domésticas (PONTES; RIBEIRO; NASCIMENTO, 2012).

Figura 24. Transporte de alimentos, combustível e pessoas no rio Negro - AM



a) Moradores viajando de rabeta



b) Canoa da comunidade



c) Rabeta transportando alimentos e combustível



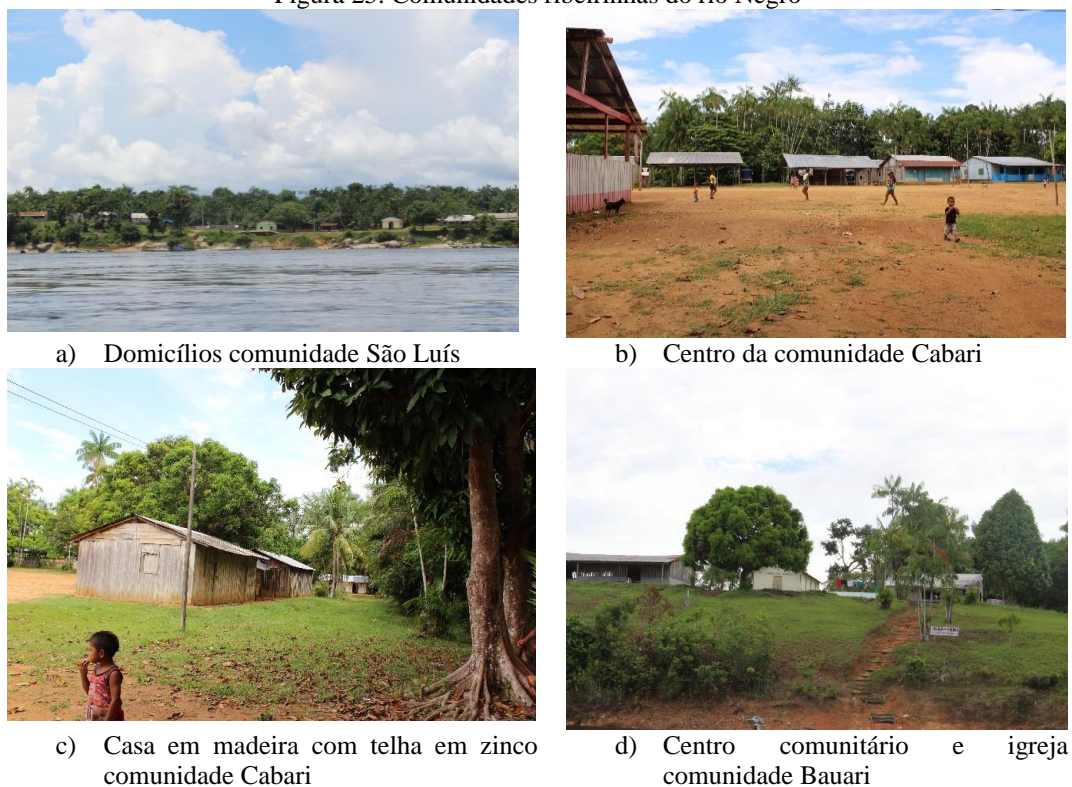
d) Atividades na margem do rio

Fonte: equipe do LEA- UnB (incluída a autora)

Durante a visita de campo, e com ajuda de imagens de satélite, confirmou-se que existe uma distribuição espacial ao longo das margens e uma pequena área central que concentra a infraestrutura comunitária como igreja, escola, centro comunitário e casa de farinha, no caso de Cabari (Figura 25).

Em relação à distribuição espacial das casas, Gama et al., em 2018 encontrou que os ribeirinhos vivem em casas construídas em madeira na terra ou palafitas suspensas mediante estacas no rio, diferindo em relação à infraestrutura, porque, embora algumas possuam energia elétrica, telefonia móvel e antenas parabólicas, a grande maioria não dispõe desses recursos, nem de sistema de saneamento básico. Não existe arruamento ou alinhamento das casas, sendo que a distribuição espacial acontece ao longo das margens dos rios, agrupadas ou distantes umas das outras (GAMA et al., 2018).

Figura 25. Comunidades ribeirinhas do rio Negro



Fonte: equipe do LEA- UnB (incluída a autora)

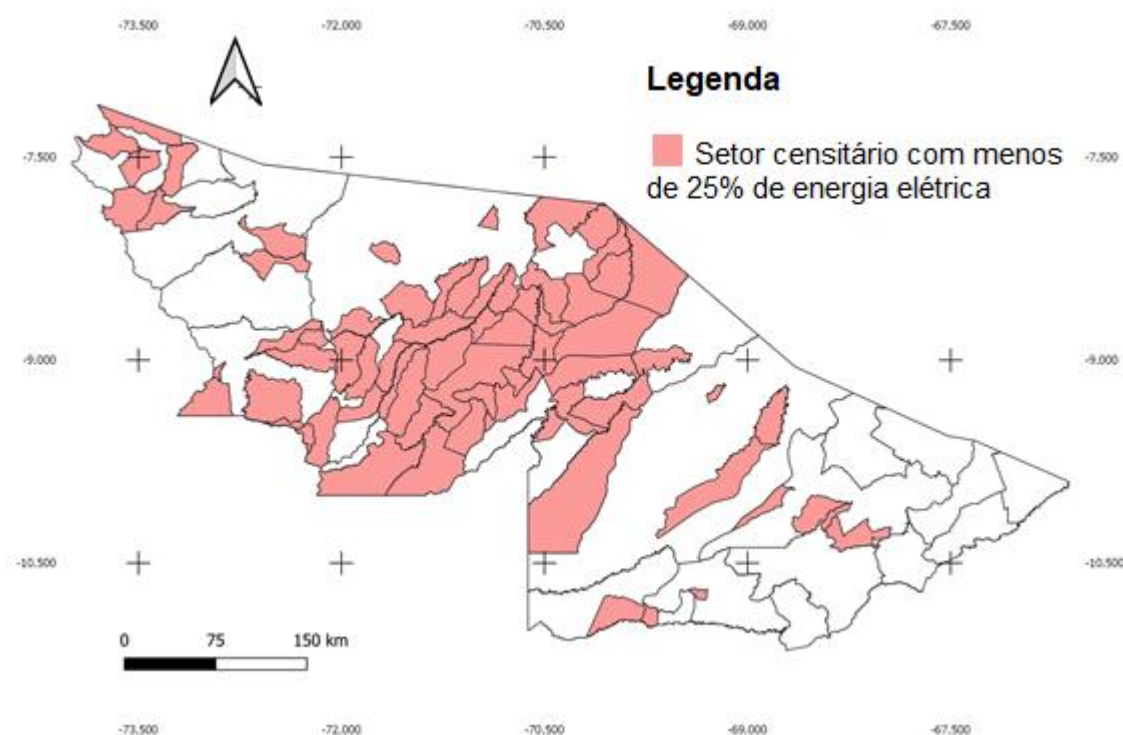
4.1.2. Demanda de energia elétrica das comunidades rurais da Amazônia Ocidental

Os mapas para os quatro estados da Amazônia Ocidental dos domicílios com acesso menor a 25 % de energia elétrica, elaborados com base nos dados de setor censitário do IGBE, são apresentados a seguir. Esses mapas permitiram obter informações quantitativas sobre municípios, domicílios e população, ou seja, dados quantitativos e qualitativos mostrando quantas são e onde estão localizadas as comunidades. Quando se menciona que possuem menos de 25 % de energia elétrica significa que não tem o serviço de energia elétrica ou possuem geradores a óleo diesel com acesso limitado e intermitente a eletricidade e com altos custos. Os detalhes encontram-se no Apêndice I com tabelas que apresentam dados por município em cada um dos quatro estados analisados.

Para o estado do Acre encontraram-se 5.459 domicílios com 28.851 moradores em 2010. Com cálculos realizados nesta pesquisa para o ano de 2019 aumentou para 7.235 domicílios com 36.174 moradores em 14 municípios. As áreas em rosa na Figura 26 são as comunidades sem energia. Várias comunidades estão localizadas simultaneamente em áreas de assentamento, terras indígenas e unidades de conservação.

No Acre, segundo dados do IBGE, mediante o Censo de 2010, existiam 13.239 domicílios sem energia elétrica dos quais mediante o programa Luz para todos desde 2004 até março de 2020 tinham sido atendidos 129.455, existindo previsão de até 2030 atender mais 54.819, ou seja, a quantidade de população com demanda de acesso ao serviço de energia não para de crescer ano após ano (VALOR AMAZÔNICO, 2020).

Figura 26. Mapa de demanda de energia elétrica no estado do Acre



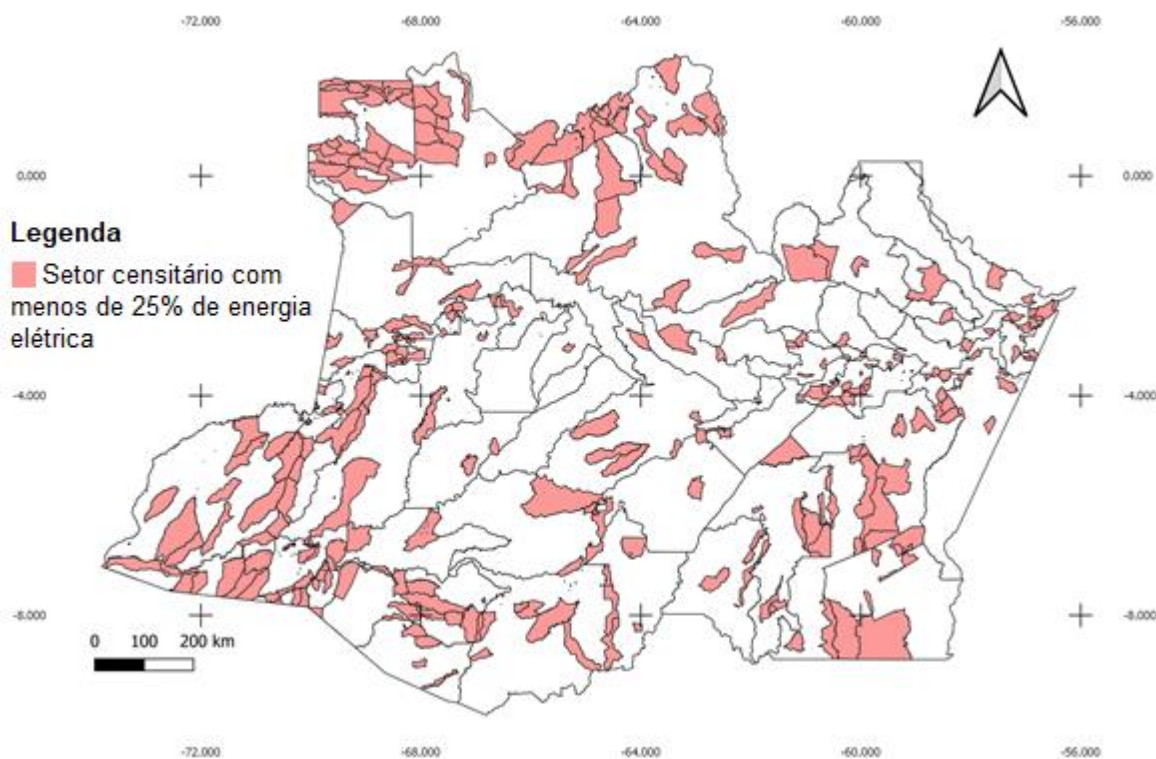
Fonte: elaboração própria a partir de dados do IBGE, 2010; Ministério de Meio Ambiente, Incra, Funai e ANA.

No estado do Amazonas eram 13.921 domicílios e 78.274 moradores em 2010 e em 2019 aumentou para 15.521 domicílios, com 93.127 moradores em 49 municípios. Na Figura 27 aparecem as comunidades com menos de 25 % de energia elétrica em cor rosa. Estas populações estão localizadas em áreas de assentamento, terras indígenas, unidades de conservação e quilombos.

Já no estado do Amazonas no ano de 2010 eram 52.731 domicílios que não tinham energia elétrica conforme o IBGE. Segundo a empresa de distribuição de energia elétrica Amazonas Energia o programa Luz para Todos atendeu de 2010 até junho de 2021 um total

de 97.010 domicílios, indicando um crescimento de 44.279 domicílios a mais dos contabilizados no Censo (AMAZONAS ENERGIA, 2021).

Figura 27. Mapa de demanda de energia elétrica no estado do Amazonas

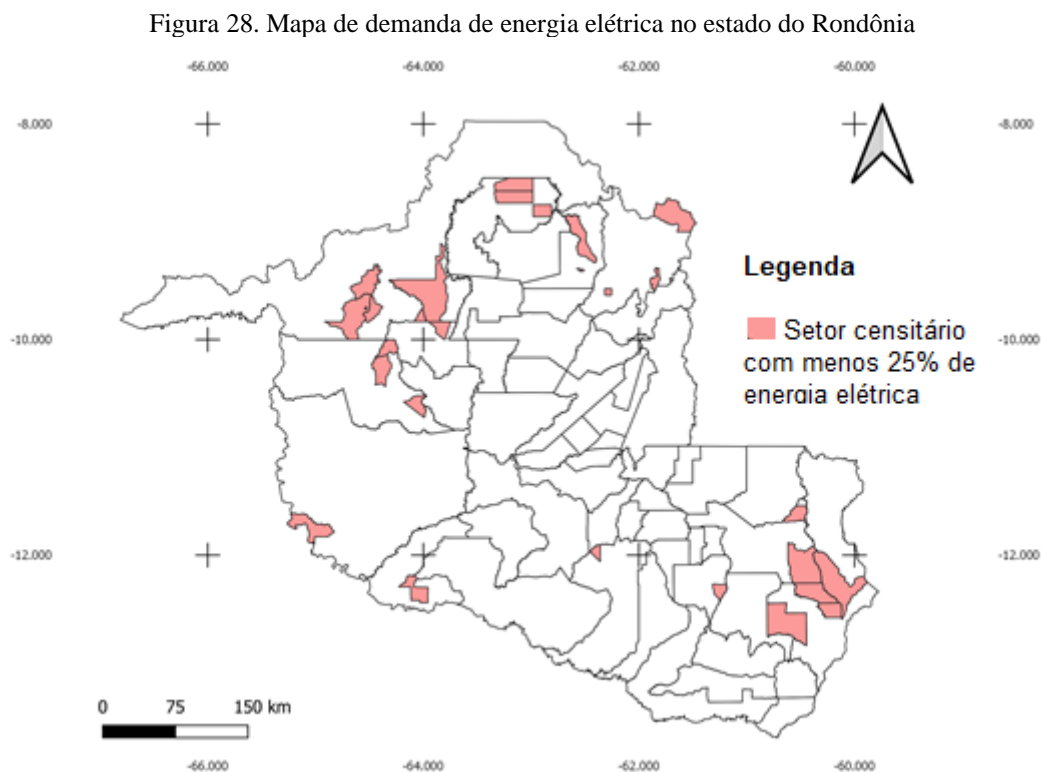


Fonte: elaboração própria a partir de dados do IBGE, 2010; Ministério de Meio Ambiente, Incra, Funai e ANA.

Em 2010, no estado de Rondônia eram 2.258 domicílios com 7.530 moradores e em 2019 aumentou para 2.893 domicílios com 8.680 moradores em 14 municípios com menos de 25% de energia elétrica. As comunidades sem energia são representadas em rosa como aparece na Figura 28.

Em Rondônia segundo o censo de 2010 eram um total de 13.143 domicílios sem o serviço de energia elétrica, dos quais mediante o programa Luz para Todos, desde 2005, foram atendidas 2.365 famílias até 2018. Dessa forma foi pouquíssima a demanda atendida mediante o Programa, sendo basicamente dois os entraves para o atendimento total da população sem o serviço. Primeiro, o modelo do setor elétrico não tem interesse no uso massivo de sistemas de geração com fontes renováveis e disponíveis nas localidades isoladas. Segundo, os sistemas a diesel usados nessas comunidades contribuem com a cadeia

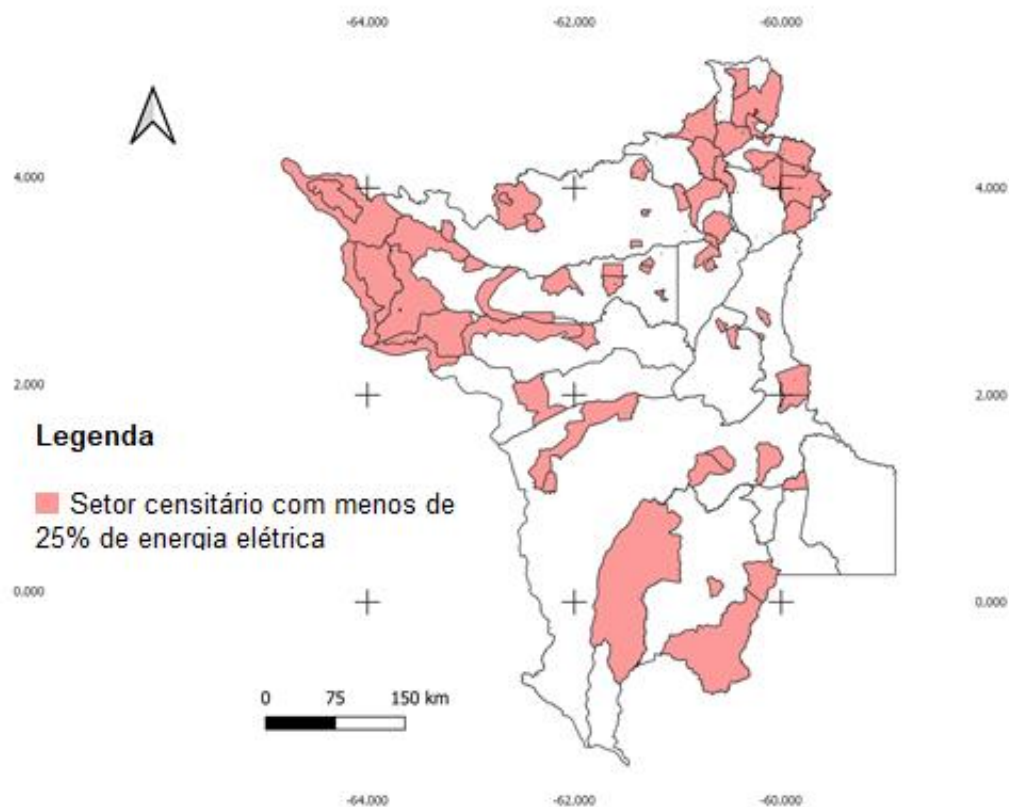
desse combustível para as grandes empresas donas do capital, que mantem o controle do mercado da energia na região amazônica, mediante altos valores que são pagos pelo governo federal, estadual e municipal, além dos mesmos moradores das regiões (AMARAL; MORET; MARATA, 2018).



Fonte: elaboração própria a partir de dados do IBGE, 2010; Ministério de Meio Ambiente, Inbra, Funai e ANA.

Finalmente, para o estado de Roraima eram 3.701 domicílios com 19.615 moradores em 2010, e com dados atualizados foi para 5.274 domicílios com 26.370 moradores em 2019 com 15 municípios. Conforme dados do censo de 2010 do IBGE eram 8.765 domicílios sem energia em todo o estado (Figura 29). De acordo com estimativas da distribuidora de energia Roraima Energia, até outubro de 2020 sem atendimento existem 7.200 domicílios a serem contemplados até o ano de 2022, mediante o Programa Luz para Todos e o Programa Mais Luz para a Amazônia, sendo grande parte dessa população indígenas e ribeirinhos (CANAL ENERGIA, 2020).

Figura 29. Mapa de demanda de energia elétrica no estado do Roraima



Fonte: elaboração própria a partir de dados do IBGE, 2010; Ministério de Meio Ambiente, Incra, Funai e ANA

Uma consolidação por município por estado é apresentada na Tabela 10 com o número de domicílios sem energia elétrica na área rural. É possível identificar que existem municípios com pouca demanda e outros com alta, sendo importante considerar o dinamismo da mesma relacionada com o crescimento populacional, necessidades de desenvolvimento social e econômico.

Esses dados podem ajudar as empresas distribuidoras de energia e governo federal, estadual e municipal para realizar um planejamento da demanda e atendimento dos programas como Luz para Todos e Mais Luz para a Amazônia, dado que essas informações mudam constantemente e devem ser atualizadas com as mesmas comunidades.

Tabela 10. Consolidado de domicílios por município com menos de 25 % de energia elétrica na área rural da AO

Estado	Município	Domicílios	Município	Domicílios
Acre	Feijó	2.563	Tarauacá	1.800
	Jordão	932	Marechal Thaumaturgo	876
	Mâncio Lima	370	Sena Madureira	327
	Santa Rosa de Purus	313	Rio Branco	196
	Manoel Urbano	182	Cruzeiro do Sul	140
	Assis Brasil	113	Porto Walter	55
	Rodrigues Alves	55	Brasília	33
Amazonas	São Gabriel da Cachoeira	1.634	Santa Isabel do Rio Negro	1.148
	Barcelos	964	Eirunepé	830
	Paritins	723	São Paulo de Olivença	681
	Ipixuna	520	Manicoré	483
	Pauini	478	Maués	466
	Envira	435	Novo Aripuaná	433
	Careiro	397	Barreirinha	387
	Guajará	374	Santo Antônio do Iça	347
	Urucurituba	343	Atalaia do Norte	340
	Lábrea	339	Nhamundá	309
	Amaturá	287	Tonantins	256
	Manaquiri	238	Tapauá	229
	Nova Olinda do Norte	210	Apuri	204
	São Sebastião do Uatumá	197	Itamarati	196
	Manacapuru	160	Canutama	158
	Benjamin Constant	154	Itacoatiara	151
	Japurá	149	Irlanduba	144
	Jutaí	138	Borba	136
	Fonte Boa	130	Novo Airão	106
	Presidente Figueiredo	96	Humaitá	95
	Boca do Acre	92	Coari	59
	Manaus	47	Codajás	45
	Autazes	22	Beruri	22
Anori	21	Carauari	14	
Itapiranga	11			
Rondônia	Porto Velho	1.586	Nova Mamoré	275
	Machadinho D'Oeste	227	Candeias do Jamari	159
	Costa Marques	146	Cujubim	129
	Buritis	86	Chupinguaia	76
	Alta Floresta D'Oeste	63	Vilhena	55
	Pimenta Bueno	42	Parecis	38
	Candeias do Jamari	14	Guajará-Mirim	12
Roraima	Alto Alegre	1.692	Amajari	794
	Uiramutã	681	Normandia	505
	Iracema	378	Pacaraima	373
	Rorainópolis	199	Caracaraí	196
	Bomfim	124	Mucajaí	122
	São João da Baliza	81	Boa Vista	68
Cantá	62			

Fonte: elaboração própria a partir de resultados da pesquisa

Como argumentado por diversos autores, o fornecimento de energia elétrica contribui para o desenvolvimento local e inclusão social da população de comunidades remotas, o uso de geradores a óleo diesel viabiliza o atendimento dessas comunidades, mas se torna

insustentável pelos impactos ambientais, o alto custo do combustível e difícil transporte até os locais de uso. Assim se faz necessário sua substituição por fontes renováveis de energia, dada a grande diversidade de recursos disponíveis na Amazônia entre eles solar, biomassa, hídrica e até eólica o qual pode ser realizado mediante planejamento acorde com as características de cada estado (MATIELLO et al., 2018); (SOUZA, 2003).

Pesquisa realizada com países do sul da Ásia (pobres e de baixa renda), encontrou que existe uma associação de longo prazo entre educação, emprego, pobreza energética, renda per capita, inflação e desenvolvimento econômico na região. A pobreza energética impactou negativamente o desenvolvimento econômico tanto a longo como a curto prazo nos países. Indicou que os países devem concentrar-se na expansão do acesso de eletricidade em áreas rurais, promover a economia rural e lacunas de desenvolvimento existentes porque mais da metade da população vive nestas áreas (AMIN et al., 2020).

4.2. MODELAGEM ENERGÉTICA PARA AMAZÔNIA OCIDENTAL

A proposta foi a criação de cenários macroeconômicos para análises de implantação de tecnologias em relação aos recursos com vistas a otimização de custos e a eficiência produtiva dos sistemas de geração de energia elétrica.

- **Cenário 1** – Energias renováveis (100 %) em 2020/2070

A abordagem do modelo OSeMOSYS (*Open Source Energy Modeling System*) analisou a demanda de eletricidade e seu atendimento mediante uma série de tecnologias que utilizam um conjunto de resíduos, definidos pelas suas potencialidades e custos.

Partiu-se de um cenário de referência com uma única fonte ou recurso utilizado que é a importação de diesel em sistemas termoeletricos de óleo diesel na região. Além de apresentarem custos elevados, possuem problemas ambientais muito sérios em relação a emissões e contaminações e partiu-se para os dois cenários propostos.

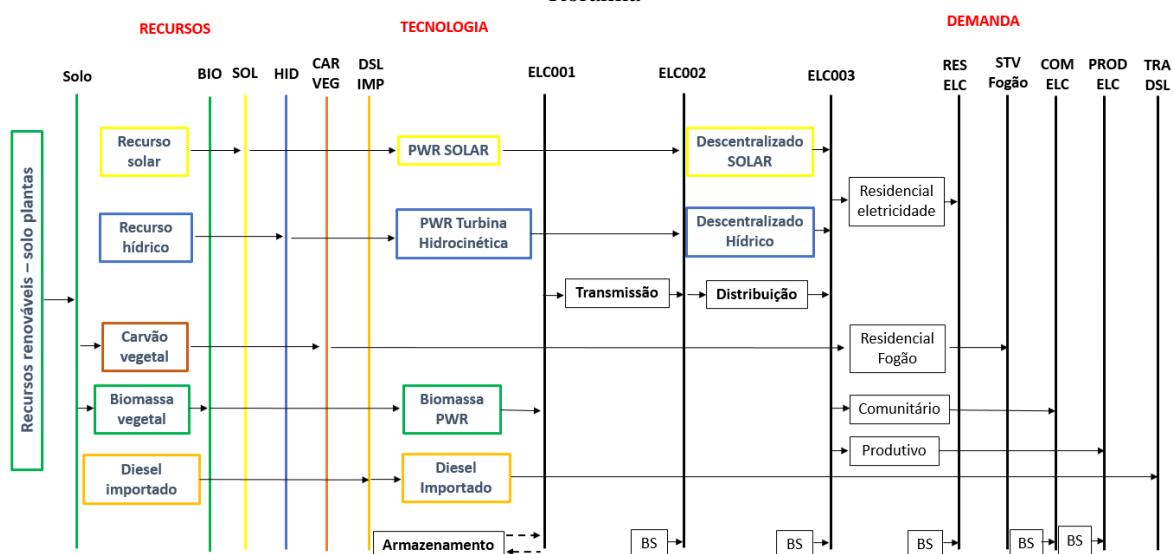
Nos estados de Acre, Amazonas e Rondônia são utilizadas quatro fontes energéticas de resíduos de biomassa a saber: açaí, castanha do Brasil, guaraná e mandioca. Para o estado de Roraima os recursos utilizados são mandioca, castanha e açaí com exceção do guaraná por não existir produção no estado e conserva as mesmas tecnologias e tipos de demanda dos outros três estados. Todas essas biomassas geram um volume alto de resíduos que podem

ser usados para geração de energia elétrica. É importante mencionar que o SRE não mostra quantidades e sim os elementos que compõem o modelo.

Cada contexto gera um Sistema de Referência Energético - SRE diferente porque requer o mapeamento de recursos primários e suas cadeias de conversão até seus usos finais, o qual depende dos recursos disponíveis, da tecnologia existente e dos usuários da energia (GARDUMI et al., 2018).

O SRE é uma sequência na qual os recursos são utilizados pela tecnologia e a energia elétrica gerada abastece os três tipos de demanda (residencial, comunitária e produtiva), além do transporte, essa última abastecida só pelo diesel como ilustrado na Figura 30.

Figura 30. Sistema de Referência Energético para a Amazônia Ocidental: Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima



Fonte: elaboração própria

Na Amazônia existe uma grande diversidade de fontes renováveis de energia como sol, ventos em localidades, rios e uma quantidade expressiva de biomassa. Dessa forma, energias alternativas como eólica, solar, biomassa, são descentralizadas e atrativas pelos baixos custos de instalação quando comparado com a distribuição convencional (MATIELLO et al., 2018).

Estudo realizado em países do Sul da Ásia indicou que a energia renovável é a chave para resolver os problemas de pobreza energética. Os governos precisam diversificar suas fontes de energia (eólica, solar geotérmica e biomassa) tanto no nível provincial quanto no federal. Além da energia renovável fornecer energia limpa, também é útil para resolver os problemas de acesso à energia em áreas remotas dos países em desenvolvimento. A política

energética nacional deve abranger áreas rurais para fins de redução da pobreza energética e desenvolvimento econômico (AMIN et al., 2020).

Os cenários elaborados para a modelagem energética da Amazônia Ocidental foram projetados para o período de 2020 a 2070 com uso de fontes renováveis, para diminuição gradual de emissões de CO₂ e NO_x por uso do diesel. Para isso utilizaram-se diferentes fontes e tecnologias: Painel fotovoltaico, turbina hidrocíntrica e gaseificador, em formato de MIGDI nas comunidades conforme sua localização, condições e distribuição. Na grande maioria delas é possível implementar sistemas híbridos devido à riqueza de recursos e a intermitência dos mesmos o que permite complementariedade.

Pesquisa realizada utilizando o método multicritério comparou várias tecnologias consideradas maduras que já foram empregadas com sucesso na Amazônia como são biomassa mediante óleos vegetais, biodiesel, painéis fotovoltaicos, microcentrais hidrelétricas e turbinas hidrocíntricas, sistemas híbridos e óleo diesel. Os resultados indicaram que sistemas de biomassa e sistemas fotovoltaicos tinham as maiores pontuações, seguidas por instalações hidrelétricas, depois as usinas híbridas (diesel e painéis fotovoltaicos) e o menor foi para os geradores a óleo diesel (FUSO NERINI et al., 2014).

As tecnologias para fontes renováveis ainda estão em processo de desenvolvimento para diminuir custos e preços, que são determinados pelo câmbio do dólar já que muitas dessas tecnologias são importadas no país, com exceção da tecnologia hidrocíntrica que tem fabricantes nacionais como é o caso da Universidade de Brasília mediante projetos de pesquisa e desenvolvimento P&D.

Em um sistema híbrido os custos gerais são menores em comparação com uma única tecnologia (KUSAKANA, 2015). As principais limitações para o uso de fontes renováveis e soluções de energia híbrida são seu alto custo de investimento inicial, a falta de cadeias de suprimentos maduras na região e a falta de incentivos de longo prazo para sua implementação por parte das concessionárias (FUSO NERINI et al., 2014).

Na Tabela 11 encontra-se um consolidado das demandas residências por estado, esses valores foram calculados com dados obtidos nesta pesquisa para a estimativa realizada para o número de habitantes no ano de 2019. É importante lembrar que esses cálculos foram elaborados com base na Tabela 5 supracitada durante a revisão bibliográfica que estimou o consumo de uma unidade residencial ou domicílio. A maior demanda foi para os estados do Amazonas e do Acre como apresentado.

Tabela 11. Demanda anual uso residencial por estado em 2019

	Domicílios	kWh/ano	MWh/Ano	GWh/Ano	PJ/ano
Acre	7.231	5.396.177	5,396	0,005	0,00001943
Amazonas	15.532	11.590.848	11,591	0,012	0,00004173
Rondônia	2.894	2.159.665	2,160	0,002	0,00000777
Roraima	5.273	3.935.008	3,935	0,004	0,00001417
Amazonia Ocidental	30.930	23.081.698	23,082	0,023	0,00008309

Fonte: elaboração própria

Na Tabela 12 encontram-se os cálculos de demanda produtiva por estado com base no resultado da Tabela 6. A maior demanda produtiva foi para o estado do Amazonas, seguido pelo estado do Acre, Roraima e Rondônia. O número de comunidades é um valor aproximado com base nos dados levantados por setor censitário presentes no Censo populacional de 2010, pois não existem dados oficiais ao respeito.

Tabela 12. Demanda anual para uso produtivo

	Domicílios	Comunidades	kW/Ano	MW/Ano	GW/Ano	PJ/Ano
Acre	7.231	241	690.001	1	0,00	0,00000248
Amazonas	15532	518	1.482.104	1	0,00	0,00000534
Rondônia	2894	96	276.153	0	0,00	0,00000099
Roraima	5273	176	503.163	1	0,00	0,00000181
Amazônia Ocidental	30.930	1.031	2.951.421	3	0	0,00001063

Fonte: elaboração própria

Na Tabela 13 encontram-se os cálculos de demanda produtiva por estado com base no resultado da Tabela 7 (Consumo comunitário). A maior demanda comunitária foi para o estado do Amazonas, seguido pelo estado do Acre, Roraima e Rondônia. O número de comunidades é um valor aproximado com base nos dados levantados por setor censitário presentes no Censo populacional de 2010, pois não existem dados oficiais ao respeito.

Tabela 13. Demanda anual para uso produtivo

	Domicílios	Comunidades	kW/ano	MW/Ano	GW/Ano	PJ/Ano
Acre	7.231	241	920.528	1	0,00	0,00000331
Amazonas	15532	518	1.977.271	2	0,00	0,00000712
Rondônia	2894	96	368.415	0	0,00	0,00000133
Roraima	5273	176	671.269	1	0,00	0,00000242
Amazônia Ocidental	30.930	1.031	3.937.484	4	0	0,00001417

Fonte: elaboração própria

Conforme o Jornal Valor a Conta de Consumo de Combustíveis – CCC¹⁴ para cobrir os custos das termelétricas no país por consumo de óleo diesel, foi no quarto trimestre de 2018 de R\$3,5 bilhões (MAIA, 2018), já para o ano de 2020 o valor estimado foi de R\$7,586 bilhões (NASCIMENTO, 2019). A CCC faz parte da Conta de Desenvolvimento Energético - CDE, subsídio pago pelos consumidores para energia solar e eólica, irrigação na agricultura, ao carvão mineral nacional, para universalização de acesso à energia mediante o programa Luz para Todos e os descontos da tarifa social de baixa renda, entre outros (ELS, 2008).

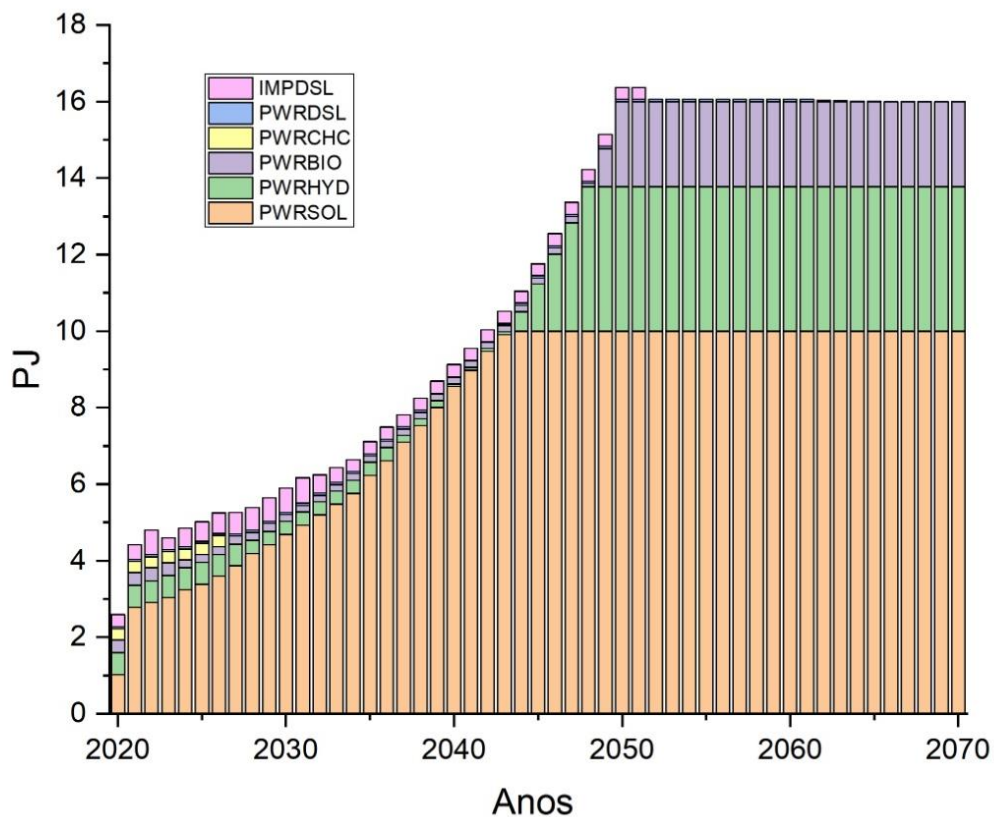
Por tanto, pode ser afirmado que o governo federal tem recursos para implementar tecnologias renováveis de geração de energia elétrica na Amazônia Ocidental mediante recursos da CDE pois como foi visto tem orçamento de bilhões todo ano para energia solar, energia eólica, o programa Luz para Todos e ainda a CCC.

As tecnologias com maior capacidade produtiva de energia são primeiro a fotovoltaica, segundo a hídrica e terceiro a biomassa. O uso de diesel é mínimo ao longo do período analisado, o qual mostra a preocupação com o uso de combustíveis fósseis e o interesse dos governos por utilizar em maior escala fontes renováveis de energia (Figura 31). A consolidação do uso da tecnologia hidrocínética na Amazonia Ocidental inicia a sua expansão do ano de 2044 a 2070, da biomassa de 2049 a 2070. O sistema fotovoltaico está apresentando melhorias de desempenho, a viabilidade é afetada pela necessidade de armazenamento.

¹⁴ encargo que subsidia a compra dos combustíveis usados na geração de energia por usinas termelétricas para os sistemas isolados.

O carvão/lenha representado na cor amarela (PWRCHC) apresenta uso do ano de 2020 a 2026, para preparação de alimentos e depois desaparece, indicando a utilização de outras fontes para esse fim.

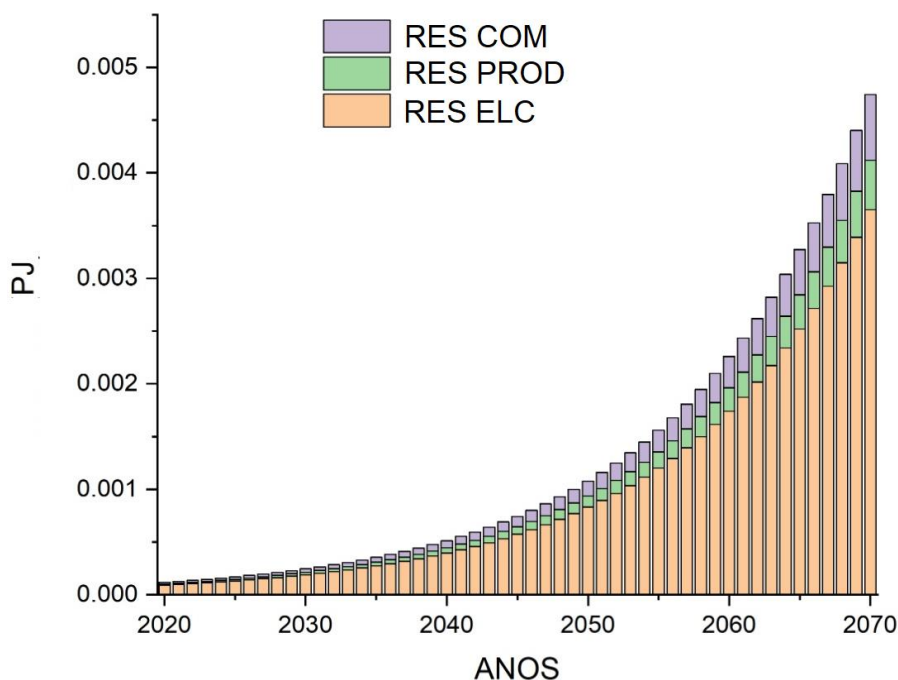
Figura 31 Produtividade Anual de eletricidade



Fonte: elaboração própria

Na Figura 32 aparece a demanda residencial, produtiva e comunitária para a Amazônia Ocidental na modelagem até o ano de 2070. É possível visualizar que existe uma elevada demanda dos três tipos notadamente para a residencial.

Figura 32. Demanda de energia elétrica em PJ (residencial, produtiva e comunitária)



Fonte: elaboração própria

A produtividade de energia elétrica para atender a demanda residencial, a produtiva e a comunitária entre o *tier* 3 e 4 pode ser realizada mediante sistemas descentralizados tipo mini-redes com fontes alternativas e capacidade de 10 kW a 10 MW, sendo uma opção intermediária entre sistemas ligados à rede e individuais (NARAYAN et al., 2020). No Brasil existem os sistemas MIDGI que foram utilizados em vários municípios amazônicos e que atendem as necessidades básicas das comunidades com possibilidades de expansão em termos de capacidade e demanda.

A literatura indica que expandir o acesso à eletricidade para os pobres significa tentar atender aos consumidores de baixa renda cujos rendimentos podem ser altamente instáveis e que muitas vezes vivem em áreas isoladas de difícil acesso que são caracterizadas por altos graus de informalidade. A relação entre a pobreza e energia requer um melhor entendimento do perfil de demanda e o reconhecimento de que os pobres são usuários de energia (JOHANSSON et al., 2012).

O acesso a soluções de cozinha com energias limpas, ou seja, sem uso de lenha é predominante em países desenvolvidos, contudo existe uma grande parcela de famílias que cozinham principalmente com lenha, carvão, resíduos agrícolas e esterco, em mais da metade da população do mundo em desenvolvimento e causa mais mortes prematuras do que HIV /

AIDS, malária e tuberculose combinados. O uso de combustíveis e fogões ineficientes também gera custos econômicos significativos às sociedades que têm menos recursos para eles e contribui para os efeitos adversos das mudanças climáticas e ambientais (VENKATA RAMANA et al., 2015).

Na Amazônia Ocidental são inúmeras as comunidades que utilizam carvão vegetal/lenha para a preparação de alimentos causando problemas de saúde e ambientais. Contudo, não existem dados exatos do número de domicílios nos quais é utilizada essa fonte energética, que cresce constantemente devido aos altos custos da energia elétrica atualmente e do Gás Liquefeito de Petróleo – GLP, além das dificuldades de fornecimento de energia elétrica em comunidades ribeirinhas e de transporte de botijões.

No próximo tópico são apresentados e discutidos os resultados de potencial hidrocínético e modelagem energética para a vila indígena de Cabari em São Gabriel da Cachoeira no estado do Amazonas.

4.3. MODELAGEM ENERGÉTICA PARA A VILA INDÍGENA DE SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA

4.3.1. Potencial hidrocínético de Cabari em São Gabriel da Cachoeira

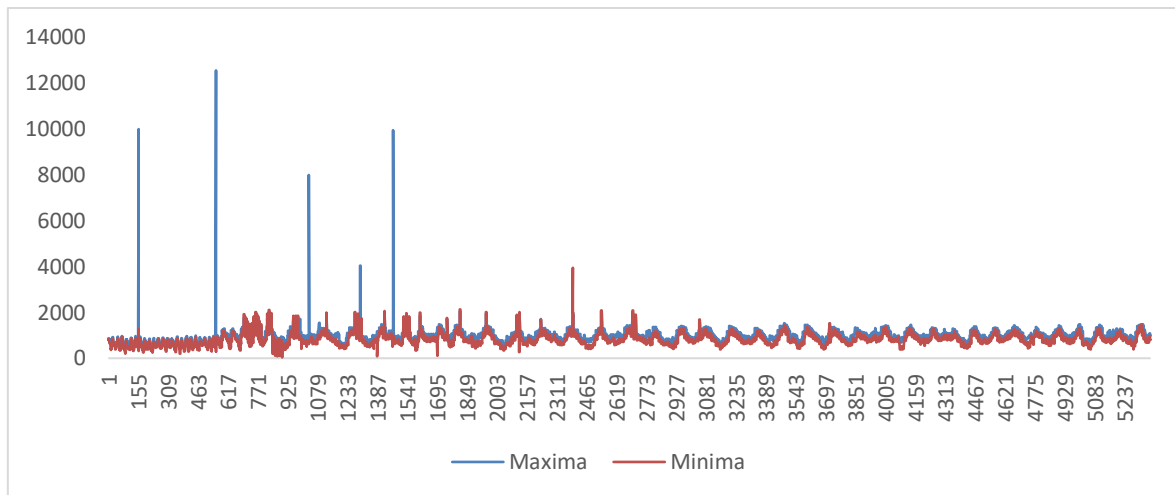
Na Amazônia Ocidental, conforme análise realizada no software QGIS, existem 200 igarapés e 128 rios. Desses rios o selecionado para analisar o potencial hidrocínético foi o rio Negro. Conforme dados da estação fluviométrica 14110000 da ANA o histórico de cotas¹⁵ médias desde 1932 até 2018 é máximo de 1.004 m, mínimo de 827 m e média de 905 m. Na Figura 33 apresentam-se essas cotas ao longo dos anos. Esses valores estão relacionados com a precipitação e as duas épocas, determinantes na vida da população da Amazônia, seca e enchente. Sua variabilidade ao longo do tempo é de 177 m que depende das estações do ano e diversos eventos climáticos.

Dependendo do trecho do rio, as pás da turbina podem bater no leito se a cota é muito baixa e danificar o equipamento interrompendo a geração de energia elétrica. A profundidade do rio Negro muda ao longo do ano, em abril de 2018 quando se realizaram as aferições em campo, o município estava passando por uma seca muito forte. A profundidade do rio era maior a 1 m nos locais próximos das margens, permitindo o funcionamento para uma turbina de 1 m de comprimento. Dados obtidos por Cruz em 2018 com base em dados

¹⁵ A cota faz referência ao nível d'água diárias de um ponto de rio.

secundários indicaram que a profundidade do rio Negro na estação fluviométrica tem uma profundidade de 12,5 m a 3,5 m (CRUZ, 2018). Esses dados são em locais das estações fluviométricas distantes dos locais medidos em campo, contudo esses dados são condicentes com o encontrado na visita de campo porque como mencionado foi na margem em um trecho do rio diferente e em época de seca.

Figura 33. Série histórica de cotas no rio Negro

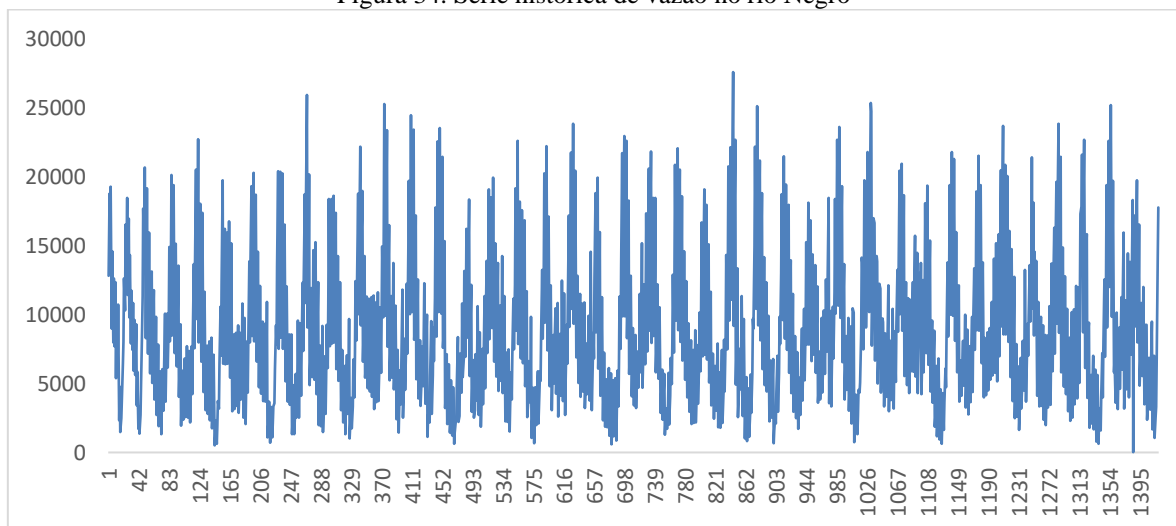


Fonte: elaboração própria com base em dados da ANA

Sobre vazão, a série histórica indica que a média da máxima é de $10.399 \text{ m}^3/\text{s}$, média da mínima de $7.059 \text{ m}^3/\text{s}$ e média da média de $8.734 \text{ m}^3/\text{s}$. O desvio padrão desses dados históricos é $5.292 \text{ m}^3/\text{s}$. Por tanto existe uma variabilidade considerável na vazão histórica do rio, indicando que é alta inclusive nos momentos em que diminui. Na Figura 34 estão as vazões históricas para o rio. A vazão se relaciona com a velocidade do rio, um dos fatores de grande importância no potencial hidrocínético.

Cruz (2018) observou que a vazão no ponto do rio era de $12.515,00 \text{ m}^3/\text{s}$ a $254,00 \text{ m}^3/\text{s}$ e a vazão simulada de $11.930,91 \text{ m}^3/\text{s}$ a $248,39 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figura 34. Série histórica de vazão no rio Negro

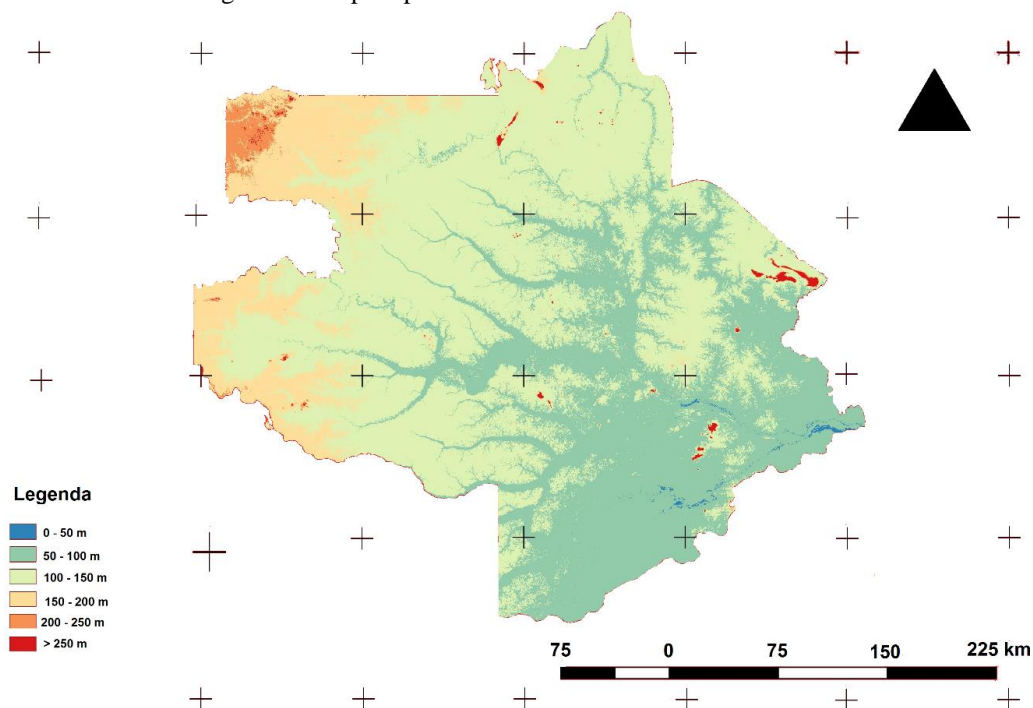


Fonte: elaboração própria com base em dados da ANA

Na Figura 35 encontra-se o mapa hipsométrico do município, os valores de elevação vão de 0 a 250 m. É possível ver que em termos gerais o município está dividido em cinco áreas. 35% do terreno está entre 100 e 150 m, 25% de 50 a 100 m, 15% de 150 a 200 m, 13% de 200 a 250 m e 2% têm mais de 250 m. Por tanto é uma área de planície com poucas elevações. Com base na literatura altitudes acima de 100 m permitem aproveitamentos hidrocinéticos (CERPCH, 2005). Por tanto 75% do município tem potencial para a instalação de turbinas porque estão acima de 100 m como identificado no mapa.

No município de São Gabriel a elevação no município varia de 42 a 953 metros. O estudo determinou que existe acúmulo de vazão proporcional à descarga, porque a inclinação foi proporcional à nascente do rio, o qual pode indicar os melhores locais para instalação de uma PCH (JEAN et al., 2021).

Figura 35. Mapa hipsométrico de São Gabriel da Cachoeira



As velocidades para o rio Negro, conforme as três estações fluviométricas das séries históricas de 1980 a 2017 vão de 0,222 até 1,350 m/s (CRUZ, 2018). As velocidades medidas em campo foram de 1,5 até 3,5 m/s. Não obstante, os métodos de medição foram diferentes e isso pode explicar as diferenças. O poder por turbina é tipicamente acima de 2 kW para velocidades da água entre 0,6 a 1,5 m/s (ELS et al., 2003). Para Tiago Filho (2003), pequenas turbinas hidrocínéticas normalmente podem oferecer até 2 kW de energia elétrica sendo uma alternativa confiável para eletrificação rural de residências ou comunidades remotas (FILHO, 2003). É importante mencionar que em grandes rios os locais com maior velocidade estão afastados das margens (ELS; CAMPOS; SALOMON, 2008). No caso das comunidades do rio Negro, a potência de 1 kW pode atender a demanda de iluminação para as famílias ou uso para infraestruturas comunitárias como o posto de saúde, igreja ou escola de forma constante.

Nos locais as medições foram realizadas perto da margem, e os dados obtidos de velocidades e profundidades confirmam que existem as condições para a instalação de turbinas hidrocínéticas. Os locais com maior potencial, de acordo com os resultados obtidos, são em ordem decrescente São Luís, Cabari, Ilha das flores, São Sebastião, Tawá e Bauari (Tabela 14). Das seis comunidades só duas não apresentam suficiente velocidade para gerar uma potência adequada. Não obstante, é importante ressaltar que a medição foi realizada

durante a visita de campo em abril de 2018, época considerada afetada pela seca o qual muda as condições normais do rio. Não foi realizada em época de chuva por falta de recursos para realizar uma nova visita.

Conforme Els, Campos e Salomon (2008), a capacidade de uma turbina hidrocínética para atender à demanda nos grandes rios na região amazônica a turbina pode ter um diâmetro que vai de 1,5 até 2,8 m para contrabalançar a baixa velocidade da água, que pode variar de 1 a 1,5 m/s, as potências típicas a serem alcançadas neles são da ordem de 300 até 3000 W. em rios com maior velocidade com diâmetro de 1,2m pode gerar 1,8 kW em rios com velocidade de 2 m/s.

Tabela 14. Resultados de potência da turbina hidrocínética nos locais visitados

Comunidade	Velocidade (m/s)	Profundidade (metros)	Potência (W)	Potência (kW)
São Sebastião (local 1)	2,9	1.0	696	0,70
São Sebastião (local 2)	1,5	1.5	96	0,10
Cabari	3	3.0	770	0,77
São Luís (local 1)	2,4	> 4.0	394	0,39
São Luís (local 2)	3,5	> 4.0	1.223	1,22
Ilha das Flores	3	1.5	770	0,77
Bauari	1,8	2.0	166	0,17
Tawá	2,2	4.0	304	0,30

Fonte: elaboração própria a partir de dados levantados em campo

Além da velocidade e profundidade foi verificada a distância da comunidade para o possível local de instalação da turbina. Essa informação é importante para determinar viabilidade técnica e custo, sendo que quanto menor a distância, menores as perdas de energia elétrica, uso de cabos para distribuição e custos.

Entre os parâmetros que influenciam a implantação de turbinas hidrocínéticas sobressaem o posicionamento geográfico, variação de nível do rio ao longo do ano, velocidade do fluxo, profundidades, condições das margens e a distância da comunidade ao ponto de instalação no rio. Essa última é muito importante porque influencia as perdas de transmissão, dado que grandes distâncias obrigam o uso de transformadores para elevar e diminuir a tensão, gerando custos adicionais (GONÇALVES; POSSAMAI; BRASIL, 2009)

Assim para a comunidade de São Luís foi verificado que a distância é de 400 m do local até o domicílio mais distante, no ponto 2 como aparece na Figura 36.

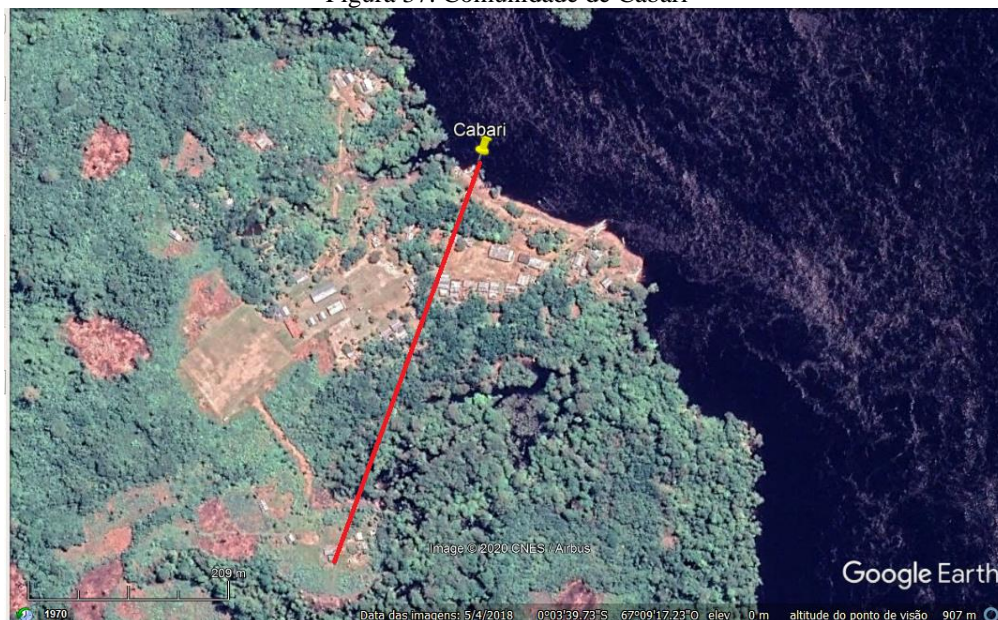
Figura 36. Comunidade de São Luís



Fonte: adaptado de Google Earth

Para a comunidade de Cabari o domicílio mais distante encontra-se a 500m do possível local de instalação da turbina como aparece na Figura 37.

Figura 37. Comunidade de Cabari



Fonte: adaptado de Google Earth

No caso da comunidade de São Sebastião do domicílio mais distante até o possível local de instalação da turbina são 400 m como apresentado na Figura 38.

Figura 38. Comunidade de São Sebastião



Fonte: adaptado de Google Earth

A pesquisa realizada e os resultados obtidos evidenciam que nas comunidades remotas visitadas em São Gabriel da Cachoeira existem outras fontes de energias renováveis como é o caso da hidrocíntrica e que não existe motivo para sua exclusão energética nem o uso de geradores a óleo diesel, que como visto ao longo do documento, tem um alto custo, difícil logística e impacto ambiental negativo. Contudo a fonte e a tecnologia são usadas na Amazônia porque faz décadas o governo impulsionou seu uso, situação que tem mudado graças ao avanço científico e programas de organizações não governamentais, universidades e olíticas públicas que estão implementando sistemas individuais e coletivos com painel fotovoltaico, minicentrais hidrelétricas e minicentrais de biomassa.

Essa riqueza de possibilidades na região Amazônica foi ilustrado por Di Lascio e Barreto em 2019 quem citaram projetos com fontes de energias renováveis usados como: Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares do IEE/USP; Cachoeira do Aruã - Um Modelo Energético Sustentável envolvendo Organizações de Base Comunitária, da Universidade Federal de Itajuba – Unifei: Revitalização do Sistema Híbrido Fotovoltaico - Eólico - Diesel da Comunidade de Tamaruteua, Município de Marapanim/PA do Gedae da Universidade Federal do Pará - UFPA; Produção Sustentável de Biodiesel a partir de Oleaginosas da Amazônia em Comunidades Isoladas da Reserva Extrativista do Médio Juruá da Universidade Federal do Amazonas - UFAM; Geração de energia a partir de oleaginosas da Amazônia do IME; Implantação de uma unidade de geração de energia elétrica a partir da

queima de biomassa acoplada a uma usina de extração de óleo vegetal, fábrica de gelo e câmara frigorífica numa comunidade isolada na ilha do Marajó do EBMA/UFGA; Energia renovável para a reserva do Maracá; Implementação de uma Central Termelétrica de 200 kW a partir do aproveitamento de Resíduos de Madeira sustentável, dentro de uma reserva extrativista estadual localizada na Região Norte do País do Instituto de Energia e Ambiente – IEE da Universidade de São Paulo - USP e Gestão Energética Para o Desenvolvimento Sustentável - Centro de Pesquisas Canguçu da Fundação Universidade Federal do Tocantins, entre muitos outros (DI LASCIO; BARRETO, 2009).

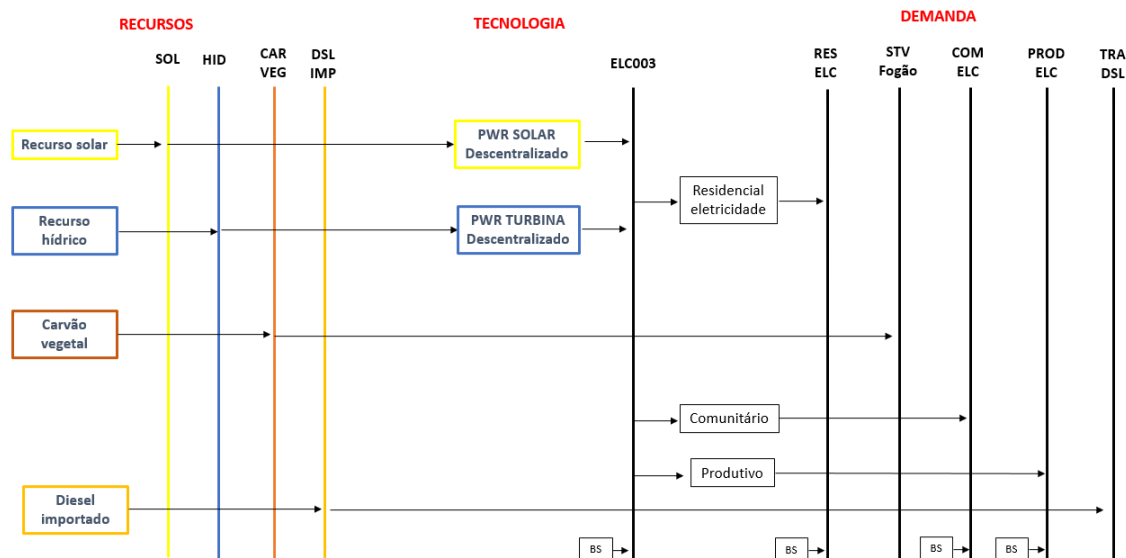
4.3.2. Modelagem energética de Cabari em São Gabriel da Cachoeira

A população da área urbana do município de São Gabriel recebe energia elétrica de uma usina termelétrica a óleo diesel, enquanto na área rural várias comunidades utilizam geradores a óleo diesel, com baixa eficiência devido à falta de manutenção, que é o caso de Cabari.

O SRE do modelo com fontes renováveis de Cabari é apresentado na Figura 39 e inclui irradiação solar e recursos hídricos, nesse modelo encontram-se também o carvão vegetal em forma de lenha usado para cozimento de alimentos e o diesel para transporte em rabetas (contudo a lenha e o diesel não foram incluídos na modelagem do OSeMOSYS). Essa informação é importante para determinação da demanda e da oferta de energia ao longo dos anos. Os usos são residencial, produtivo e comunitário. Essas informações servem para deixar o sistema em balanço: $Geração = Consumo + Perdas$.

Como explicado anteriormente a modelagem contempla as características da comunidade em termos de tipos de uso de energia e os recursos disponíveis desde uma visão econômica. Os critérios analisados foram demanda, consumo, fontes de energia e tecnologias disponíveis.

Figura 39. Sistema referencial de energia modelo energias renováveis da Vila Indígena Cabari em São Gabriel da Cachoeira – AM



Fonte: elaboração própria

Para Cabari são utilizados dois cenários com o primeiro em um contexto no qual é utilizada como única fonte o óleo diesel e o segundo com uso de energias renováveis em sistemas híbridos de energia hidrocínética (50%) e solar (50%).

- **Cenário 1** – Híbrido de energias renováveis (100 %) em 2020/2070.
- **Cenário 2** – Atual em São Gabriel da Cachoeira: Diesel (100%) em 2020/2070;

O planejamento começa com o cenário de referência e após a execução primária do modelo, é possível a verificação dos fluxos de demanda com base em períodos, para o qual é realizada uma divisão macro assim: ano em três tempos: verão (S), inverno (W) e intermediário (I) quando não pertence a nenhum dos dois e estimado em dois meses na Amazônia, equivalentes ao período de primavera e outono.

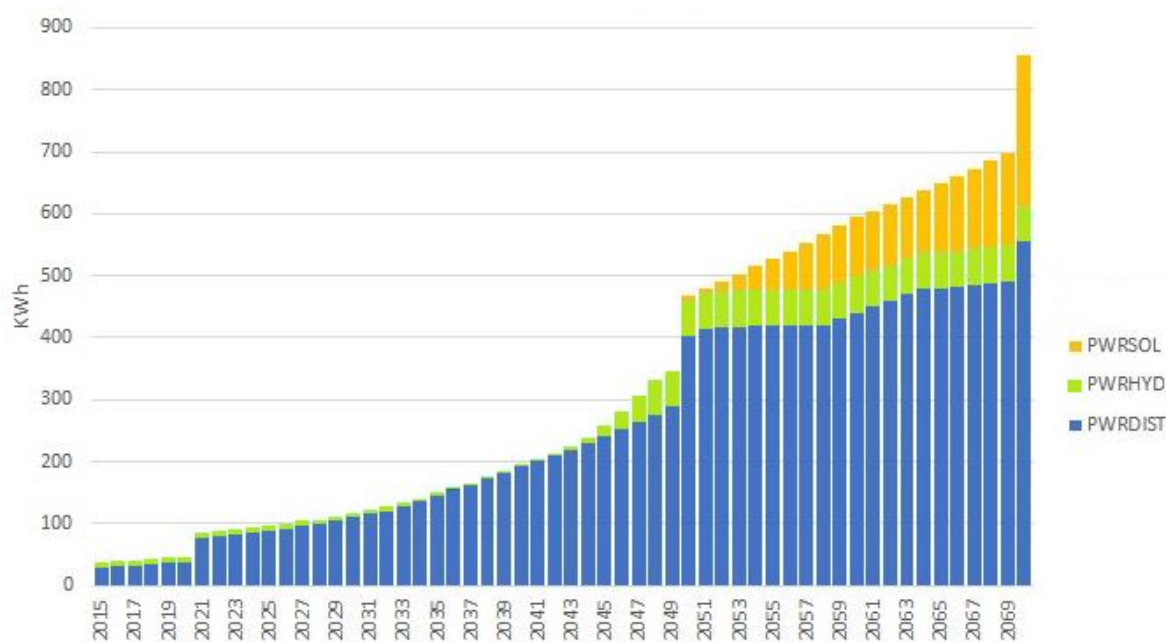
Os resultados mostraram que o maior período de uso da energia é no inverno durante a noite, depois no verão durante o dia. É importante lembrar que o inverno na região Norte vai dos meses de dezembro a maio com temperaturas altas e chuvas constantes. Já o verão vai de junho a novembro com clima quente e seco.

Conforme, Frade, Pereira e Witkoski (2007) agosto marca o início da vazante, propiciando a rápida reintegração de áreas submersas ao cultivo agrícola, agosto, setembro e outubro, conhecido por “verão”, marca o aumento da oferta de áreas cultiváveis e intensificação das atividades produtivas terrestres e aquáticas (FRAXE; PEREIRA;

WITKOSKI, 2007). Isso explica um maior consumo de energia elétrica durante o dia no verão e a noite durante o inverno.

Em seguida, na Figura 40 é apresentada a produtividade anual de eletricidade das duas tecnologias propostas (placas fotovoltaicas e turbinas hidrocínéticas) em kWh. Na cor laranja encontra-se a produção de energia solar, em verde de hidrocínética e em azul a energia total gerada por ambas as tecnologias para distribuição. A produtividade aumenta constantemente ao longo dos anos, sendo expressivo de 2050 a 2070 na produtividade distribuída e hídrica. A energia hidráulica é tímida até 2044, aumentando desde 2045 e mantendo-se quase igual até 2070. No caso da energia solar só aparece de 2050 a 2070 aumentando ao longo desses anos.

Figura 40 Produtividade Anual de eletricidade



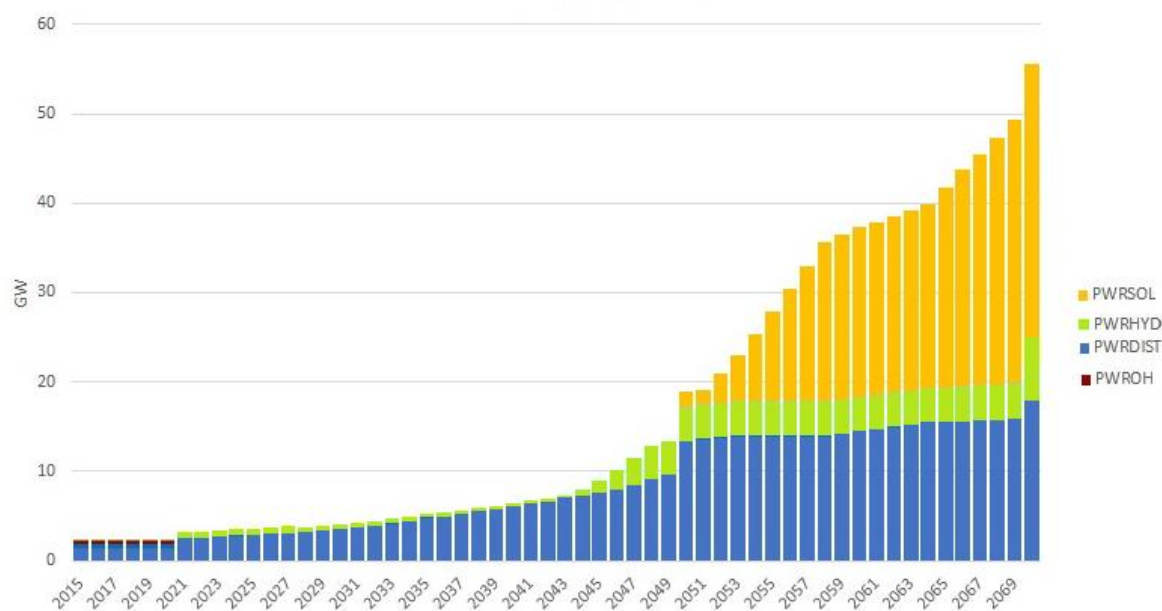
Fonte: elaboração própria

O município de São Gabriel possui um alto potencial para aproveitamento de energia solar, pelo qual sistemas solares isolados ou combinados têm alta probabilidade de contribuir no planejamento energético (JEAN et al., 2021). Conforme dados do mesmo estudo é provável determinar que na vila de Cabari a irradiação solar é de 1800 a 1900 W/m² confirmando seu alto potencial para instalação de sistemas fotovoltaicos.

A capacidade anual de geração de energia em GW é apresentada na Figura 41 com a capacidade de energia solar em forma expressiva de 2050 a 2070, a capacidade da hídrica é

menor quando comparada com a solar e presente desde 2020 a 2070, contudo aumentando significativamente desde 2048. A PWROH refere-se ao uso de carvão vegetal para preparação de alimentos o qual só existe de 2015 a 2020 porque o modelo busca que as famílias usem como fonte energia elétrica gerada a partir das fontes renováveis.

Figura 41. Capacidade anual total por tecnologia (GW)



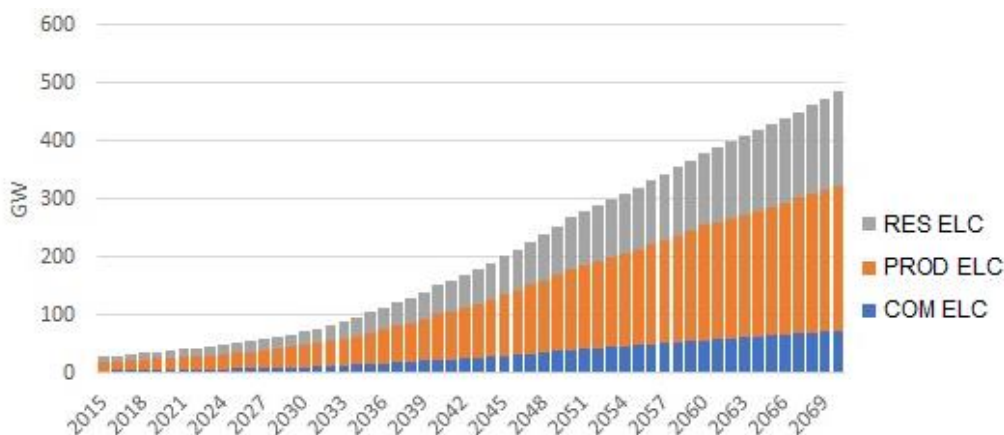
Fonte: elaboração própria

Na pesquisa realizada por Jean et al., (2021) os resultados para o município de São Gabriel mostraram três soluções tecnológicas: extensão da rede, mini-rede e sistemas fotovoltaicos autônomos. Devido à alta irradiação horizontal global (GHI), associada ao baixo potencial eólico devido à alta vegetação, bem como aos grandes custos no uso de combustíveis fósseis.

Para o caso da vila de Cabari, na modelagem realizada nesta pesquisa também foi descartada a fonte eólica por seu baixo potencial e a biomassa, mas ao contrário da pesquisa de Jean et al., (2021) foi considerado o potencial hidrocínético o qual foi constatado em campo e mediante análises de dados secundários.

Na Figura 42 aparece a demanda residencial, produtiva e comunitária para a vila de Cabari, é possível ver o aumento da demanda ao longo do período projetado tendo um aumento notório a partir de 2030, especialmente da demanda produtiva.

Figura 42. Demanda de energia elétrica em GW (residencial, produtiva e comunitária)

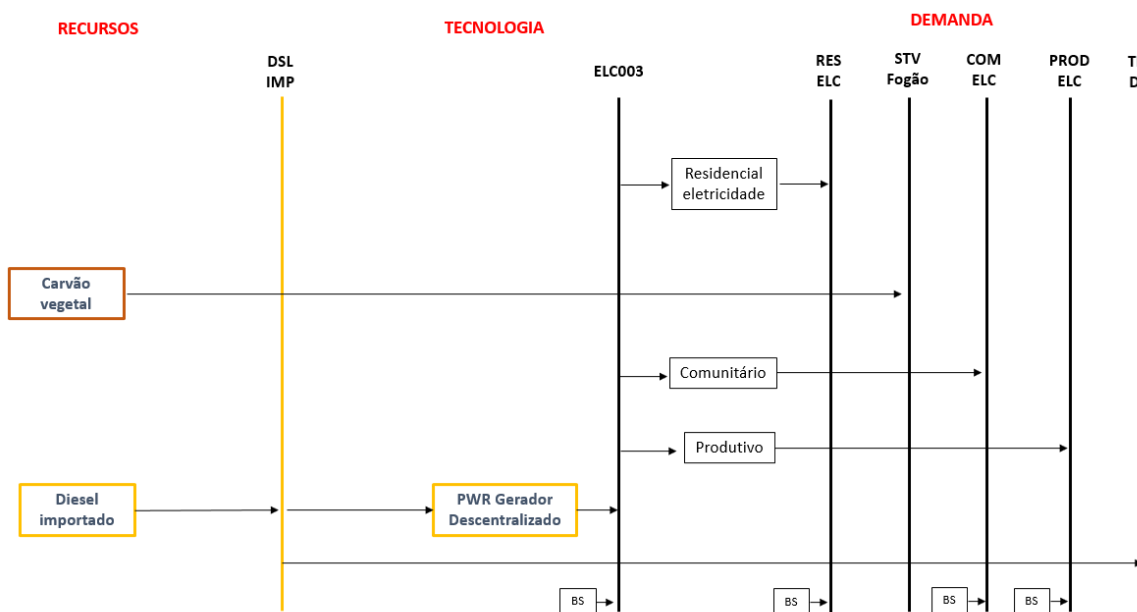


Fonte: elaboração própria

O cenário 2 que é baseado no uso de 100% de diesel é apresentado no SRE da Figura 39, inclui o carvão vegetal para cozimento de alimentos e o uso do diesel para transporte em rabeta.

Na pesquisa de Jean et al., (2021) foram considerados os *tiers* 1, 3 e 5 que eram atendidos por sistemas fotovoltaicos, já nesta pesquisa considerou-se que a demanda residencial, produtiva e comunitária se encontrava entre o *tier* 3 e 4 atendida pelas energias renováveis com fonte solar e hídrica como apresentado na Figura 43.

Figura 43. Sistema referencial de energia modelo diesel da Vila Indígena Cabari em São Gabriel da Cachoeira – AM



Fonte: elaboração própria

O uso de carvão vegetal em comunidades de baixa renda para preparação de alimentos por falta de outra fonte energética acessível é frequente. Os poucos levantamentos existentes sobre o tema, por região, indicam que na área rural de Goiás o consumo era de 3.847 kg/domicílio/ano, no estado da Paraíba de 2.880 a 3.504 kg/domicílio/ano e em Pernambuco de 2.058 kg/domicílio/ano. Tipicamente, a lenha é a fonte de biomassa mais importante nos países em subdesenvolvidos, dados de 2008 indicaram que a média per capita estimada é de 700 kg por ano e em 2016 a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD realizada pelo IBGE indicou que 16,1% dos brasileiros fazem uso de lenha e carvão vegetal para preparar alimentos tendo um consumo aproximado de 605 kg/pessoa/ano (GIODA, 2019).

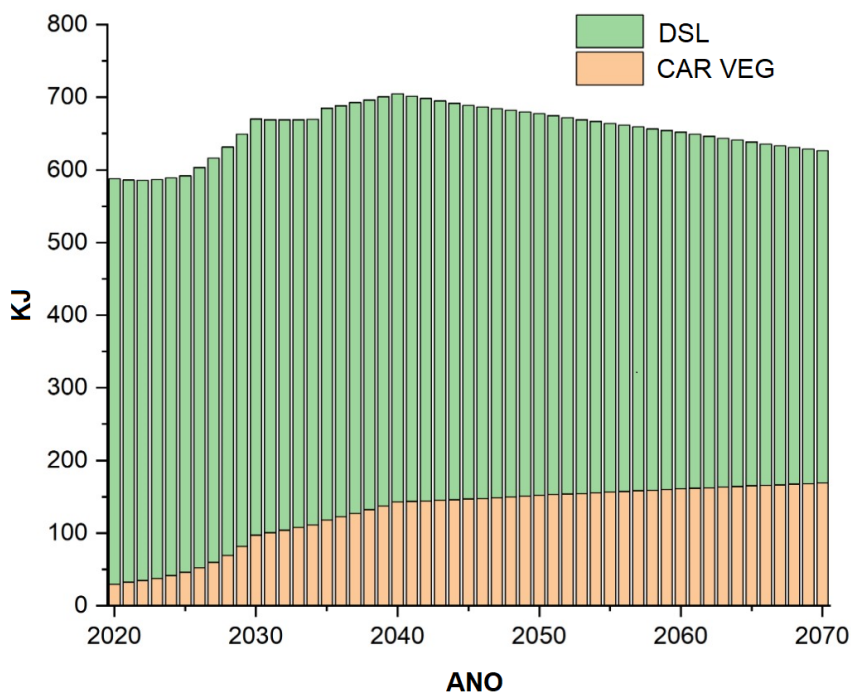
No caso das comunidades amazônicas o uso de lenha para preparo de alimentos é constante devido à falta de recursos financeiros e problemas de logística dessas populações que geralmente usam como meio de transporte rabetas e canoas para chegar nos centros urbanos, além claro da falta de energia elétrica, impossibilitando outras tecnologias e fontes de cozimento de alimentos.

O uso de lenha está vinculado ao poder aquisitivo, disponibilidade e aspectos culturais. Ainda que vários domicílios rurais possuam acesso a fogões a gás, seu uso é relativamente pequeno devido aos altos custos desse combustível e suas dificuldades de transporte, as atividades de obtenção de lenha são responsabilidade de mulheres e crianças (GIODA, 2019); (TEIXEIRA; RESENDE, 2003).

A produtividade anual de eletricidade em KJ para o diesel ilustrada na Figura 44 indica que diminui ao longo do tempo (de 2040 a 2070) porque não é sustentável em termos de custos financeiros e ambientais, já que embora a tecnologia tenha baixo custo de capital, seus custos fixos e variáveis são altos e fortemente dependentes de subsídios do governo mediante a CCC, além de altos custos de logística.

Em relação ao uso do carvão vegetal como lenha para preparação de alimentos acontece um incremento no seu uso devido a que não possui custos financeiros para as comunidades pois é encontrado no local onde moram, aumentando do ano de 2030 até 2070.

Figura 44 Produtividade Anual de eletricidade



Fonte: elaboração própria

A capacidade anual de geração de energia em GW é apresentada na Figura 41 com a capacidade de energia solar em forma expressiva de 2050 a 2070, a capacidade da hídrica é menor quando comparada com a solar e presente desde 2020 a 2070, contudo aumentando significativamente a partir 2048. A PWROH refere-se ao uso de carvão vegetal para preparação de alimentos o qual só existe de 2015 a 2020 porque o modelo busca que as famílias usem como fonte energia elétrica gerada a partir das fontes renováveis.

Para Fusco Nerini et., (2014) a geração a diesel foi adotada porque para as concessionárias, é a solução de curto prazo mais conveniente para tentar cumprir as metas de universalização do programa Luz para Todos dentro dos prazos governamentais curtos. São uma tecnologia bastante conhecida na Amazônia, com baixo custo de capital e com uma cadeia consolidada de abastecimento de sistemas e distribuição de combustíveis. As concessionárias não levam em consideração os altos custos do combustível, o que representa um *trade-off* econômico entre os altos custos de operação e manutenção dos sistemas a diesel no longo prazo e as multas aplicadas às concessionárias que não atingem as metas de conexão no tempo exigido pelo governo. O qual representa uma falha de política (governança / informacional) que deve ser remediada com novos esquemas institucionais de prestação de serviços energéticos à população rural.

No caso do gerador a diesel considera-se quantos kWh podem ser gerados por litro consumido de combustível. No caso da energia solar não existe custo do combustível e as despesas de investimento referem-se à aquisição dos equipamentos e instalação. Para ambos os sistemas de geração os custos de manutenção e operação são diferentes, no caso do fotovoltaico as despesas são baixas referindo-se a limpeza anual da superfície dos painéis e possível substituição dos componentes como inversor e controlador de carga. Já no caso do gerador a diesel os custos são troca de peças e a vida útil é menor (SCHNEIDER, 2019).

Os resultados na elaboração da demanda, consumo e perfil dos consumidores indicam junto com a modelagem energética da Amazônia Ocidental e a vila indígena de Cabari em São Gabriel da Cachoeira que as comunidades estão conformadas pela parcela da população com menor renda, localizadas em áreas de difícil e acesso, abastecidas em ocasiões por sistemas geradores a óleo diesel.

No Brasil as empresas encarregadas de implementar infraestrutura e sistemas de geração de energia focam em usuários que gerem lucros com o uso da energia elétrica. A literatura indica que reformas do setor de energia no mundo foram introduzidas com a única intenção de melhorar o desempenho das concessionárias e os benefícios sociais esperados não vieram necessariamente. Onde os governos tentaram regular a melhoria do acesso à eletricidade para os pobres, as tarifas para famílias tenderam a diminuir e os níveis e taxas de eletrificação tenderam a aumentar (JOHANSSON et al., 2012).

O tipo de fonte e tecnologia utilizada pelas políticas públicas e as concessionárias encarregadas de levar energia aos domicílios na Amazônia é determinante, porque define os custos de instalação, operação e manutenção.

Para garantir que formas de energia modernas, mais limpas e acessíveis para as pessoas pobres, devem ser escolhidas as fontes de energia adequadas. Por exemplo, tecnologias de energia renovável em grande escala têm custos de operação mais baixos, portanto, pode ser, a longo prazo. Além disso, alguns combustíveis fósseis como o GLP também podem ser atrativos devido às suas características de combustão mais limpa e maior eficiência (JOHANSSON et al., 2012).

4.4. IMPACTOS AMBIENTAIS NA VILA DE CABARI EM SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA

Durante a visita na vila verificou-se que as atividades incluem agricultura, pesca e extrativismo. As casas em sua maioria estão distribuídas ao redor de uma praça ou pátio central onde localiza-se o centro comunitário, a igreja evangélica, a escola, um campo de futebol, a casa de farinha e várias casas. Existem postes utilizados para levar energia a esses lugares em ocasiões especiais mediante um gerador a óleo diesel. Essa pequena descrição da comunidade confere com o mencionado por Vasques (2014) sobre a distribuição de domicílios e lugares coletivos ser típica de comunidades amazônicas.

Parte do mencionado é apreciado na vista superior da comunidade mediante imagem de satélite, mostrando em amarelo o local de instalação da turbina hidrocínética e imagens da comunidade. Ali observa-se a vegetação na margem do rio e áreas descobertas, nas quais existem atividades produtivas como roça e locais de moradia (Figura 45).

A comunidade tem pouca densidade populacional e o rio é o eixo das atividades econômicas e sociais por parte dos habitantes. O rio Negro é pouco produtivo em termos biológicos, ou seja, tem pouca produção de peixes. Isso devido a características físico-químicas como baixo pH, baixa condutividade elétrica, presença de substâncias húmicas, alta concentração de oxigênio dissolvido e pouco transporte de sedimentos pelo qual é classificado como ambiente oligotrófico (Apêndice II – Quadro 6, 7 e 8).

Figura 45. Comunidade Cabari – distribuição espacial



Fonte: Google Earth e visita de campo

Com a ajuda da comunidade foi identificado o local provável para instalação da turbina hidrocínética às margens do rio. No qual existe uma margem sem vegetação que pode ser utilizado para ancorar a turbina mediante um pequeno deck de madeira (Figura 46). Para Vasques (2014) as margens do rio Negro possuem solo arenoso e vegetação baixa, típica de caatinga amazônica (campinarana) com arbustos entre 3 e 6 metros de altura, esparsos intercalados com vegetação rasteira.

Figura 46. Margem do rio Negro na comunidade e vegetação e provável local de instalação da turbina



a) Margens do rio e sua vegetação



b) Local provável de instalação da turbina hidrocínética

Fonte: visita de campo

E quais podem ser os possíveis impactos que podem ser causados pela turbina hidrocínética? A turbina hidrocínética é considerada ambientalmente amigável, não obstante é um objeto externo ao ecossistema e por esse motivo pode mudar a dinâmica do trecho do rio no qual é instalada, sem embargo os impactos são pequenos, locais e reversíveis. Quando comparada com outras tecnologias que tem potencial na região do rio Negro identifica-se que é a menos impactante, devido à sua dimensão, e sistema de funcionamento.

A turbina é de pequena dimensão e planejada para diminuir impactos pois é um equipamento que funciona com o movimento da água sem precisar de obras complexas de engenharia, muito pelo contrário sua instalação só precisa de um lugar para fixar o equipamento e evitar que seja levado pelo rio.

Foi determinado que a água do rio possui concentrações de mercúrio liberado naturalmente pelo solo (ZEIDEMANN, 2001). Adicionalmente não existe tratamento de esgotos, potabilização de água, nem aterro sanitário na região e por tanto a população consome água em estado bruto sem nenhum tipo de tratamento e com os contaminantes dissolvidos do esgoto e lixiviado do lixo enterrado e queimado (MINISTÉRIO DE

DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO, 2009). Estudo dos parâmetros físico-químicos da água em 1995 (é o único encontrado) em água superficial e subterrânea do município de São Gabriel até 20 m de profundidade, realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, indicou que estava contaminada com coliformes fecais (ENGENHARIA DE SISTEMAS DE CONTROLE E AUTOMATAÇÃO - ESCA; COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM, 1995).

A implantação de uma turbina hidrocínética pode impactar de forma negativa a mobilidade, lazer e pesca porque pode mudar os locais de realização dessas atividades. E de forma positiva a renda, acesso a meios de comunicação, conforto e serviços básicos porque a energia elétrica facilita o uso de equipamentos. A saúde, educação, geração de renda, atividades de lazer e turismo, acesso a meios de comunicação tem um impacto positivo de magnitude média, extensão menor, o prazo do efeito é de longo prazo e a periodicidade é permanente porque se encontram no nível de bacia hidrográfica com duração permanente (Apêndice II – Quadro 9 e 11).

Nos fatores físico-químico e biológico os impactos são negativos de magnitude pequena, extensão média, efeito de longo prazo e periodicidade temporária. Os impactos são a alteração do fundo do leito por incremento de depósito de sedimento, alteração do solo da margem do rio, alteração da qualidade da água, alteração do fundo da água, suspensão de sedimentos e contaminantes, alteração de sedimentos, alteração de plantas aquáticas, danos a peixes, danos a aves aquáticas e danos a organismos bentônicos (Apêndice II – Quadro 10).

Nesse sentido pesquisas demonstraram que a taxa de sobrevivência para trutas arco-íris (*Onchorhynchus mykiss*) que mede até 45 cm e achigã (*Largemouth bass*) que mede até 75cm, a uma velocidade de aproximação de 1,5 e 2,1 m/s foi superior a 99,5 % (AMARAL et al., 2011). No caso da turbina hidrocínética ser instalada para a comunidade Cabari, a velocidade de aproximação é de 1,3 m/s e o tamanho dos peixes vai de 15 cm a 150 cm, o tamanho de cada pá é menor a 0,5 m. Por tanto a velocidade de aproximação é menor à utilizada na pesquisa de Amaral. Devido à dimensão da turbina, o local de instalação e baixa produtividade biológica do rio não existem motivos para preocupação para o parâmetro de danos a peixes.

O impacto dos rotores ou de outras partes do equipamento na vida aquática é relativamente baixa quando comparado com turbinas eólicas ou pás de navios, porque as pás funcionam a baixa velocidade e tem menor área. A profundidade do rio, a distribuição de

velocidade e sedimentação pode variar em águas rasas (KAYGUSUZ; GU, 2010). O rio Negro não é considerado raso e seu nível de água muda de acordo com a estação, seu volume de água é elevado dado que o fluxo é de 28.000 m³/s.

O acesso a formas modernas de energia são pré-requisito essencial para superar a pobreza, promover o crescimento econômico, aumento de oportunidades de emprego e prestação de serviços sociais como cuidados de saúde, comida e educação. O uso de energia permite aumentar a produção de alimentos e reduzir as perdas após a colheita (JOHANSSON et al., 2012). Em São Gabriel da Cachoeira a principal fonte de renda do território é o extrativismo de madeira, sorva, cipótitica, palmito, seringa, açai, castanha-do-Brasil, piaçava e peixes ornamentais (MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO, 2009).

A produção agropecuária tem grande importância na segurança alimentar e reprodução social e cultural da população, especialmente a cultura de mandioca e a pesca realizada de forma artesanal usados para consumo e venda (MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO, 2009). A comunidade pode usar a energia para produzir de forma eficiente a farinha de mandioca e conservar alimentos para seu consumo e venda no mercado local.

5. CONCLUSÕES E PESQUISAS FUTURAS

5.1. CONCLUSÕES

A renda mensal das populações da Amazônia Ocidental é baixa, não obstante, as transferências de renda e aposentadorias do governo federal, o constante contato com a área urbana em busca de acesso a saúde, emprego, educação e renda têm incentivado o interesse e necessidade de acesso à energia elétrica aumentando a demanda para uso residencial, produtiva e comunitária.

O uso de tecnologias com base em fontes renováveis possui como entrave o alto custo de investimento inicial. Contudo, existem projetos de pesquisa e inovação internacional para diminuir os custos e tornar a tecnologia acessível. Uma tecnologia que é motivo de pesquisa, especialmente no Brasil devido a sua riqueza hídrica, são as turbinas hidrocínéticas que atualmente são fabricadas mediante projetos para ser instaladas em comunidades rurais.

Resultados gerados com a modelagem energética OSeMOSYS criaram cenários com múltiplas regiões e tecnologias considerando aspectos biofísicos, econômicos e sociais referentes à Amazônia Ocidental e identificaram que as políticas energéticas precisam de ajustes ao contexto amazônico, visão a longo prazo e integração com a realidade local para permitir, não só acesso à energia elétrica, mas também ao desenvolvimento sustentável, contribuindo aos ODS.

A modelagem mostrou que é necessário desenhar e implementar sistemas híbridos de média escala que integrem várias comunidades mediante a geração, transmissão e distribuição de energia usando fontes renováveis. Principalmente a biomassa de resíduos do extrativismo como por exemplo o açaí e castanha-do-Brasil e de monoculturas como mandioca e guaraná, também o uso de turbinas hidrocínéticas e sistemas fotovoltaicos.

O planejamento energético busca diminuir o uso de combustíveis fósseis, nesse caso o diesel, largamente utilizado na Amazônia, mediante políticas que subsidiam seu uso em termelétricas e pequenos geradores que, além de causar impactos negativos na saúde das populações e poluição ambiental, geram altos custos econômicos e financeiros para o país.

Por outro lado, o uso de diesel para transporte se constitui em um problema a ser solucionado devido aos altos custos desse combustível e dificuldades logísticas para seu transporte até as comunidades ribeirinhas, onde os usos incluem geradores a óleo diesel para iluminação e uso de alguns equipamentos, como também para o transporte em rabetas. Por

tanto converte-se em um ciclo no qual é usado diesel para comprar diesel para acessar a serviços educacionais, de saúde, benefícios do governo e compra de alimentos, entre outros.

Na modelagem energética para as comunidades rurais da Amazônia Ocidental foram utilizadas como fontes a irradiação solar, os rios e biomassa tendo como tecnologias as placas fotovoltaicas, turbinas hidrocínéticas e gaseificadores. Para atender as demandas residencial, produtiva e comunitária nos domicílios com menos de 25% de energia elétrica conforme dados do censo de população de 2010 e projeções realizadas nesta pesquisa. O período de modelagem com cenário de 100% de energias renováveis foi de 2020 a 2070. Já a modelagem para a vila indígena de Cabari localizada no município de São Gabriel da Cachoeira no estado do Amazonas utilizou como fontes a irradiação solar, rios e diesel mediante as tecnologias de placas fotovoltaicas, turbinas hidrocínéticas e geradores atendendo as mesmas demandas da Amazônia para o período de 2020 a 2070 com dois cenários, um de 100% de energias renováveis e outro de 100% de diesel. Em ambas as modelagens foram analisados o uso de diesel para transporte e de carvão vegetal/lenha para cozimento de alimentos.

Na Amazônia Ocidental as tecnologias com maior capacidade produtiva foram em ordem decrescente a fotovoltaica, hídrica e biomassa com elevada e crescente demanda dos três tipos (residencial, produtiva e comunitária). Os resultados mostraram que a produtividade aumenta ao longo dos anos sendo expressivo de 2050 a 2070 na hídrica e para a demanda, notadamente da produtiva a partir de 2030. O uso de energias renováveis para atendimento de populações sem energia elétrica, que usam de forma parcial pequenos geradores a óleo diesel e sistemas isolados que utilizam usinas termelétricas com alto consumo de diesel, causam impacto ambiental adverso no clima com os gases de efeito estufa. Por tanto o uso de energias limpas pode reduzir nas emissões de CO₂ contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas.

Os impactos ambientais da instalação de uma turbina hidrocínética na vila de Cabari foram considerados pequenos, locais e reversíveis. Já que quando comparada com outras tecnologias com potencial na região do rio Negro identificou-se como a menos impactante, não obstante seu sistema de funcionamento pode mudar a dinâmica do trecho do rio no qual é instalada, presença de leve poluição devido à falta de saneamento básico. E entre os impactos positivos encontra-se acesso a melhores serviços de saúde, educação e geração de renda.

Em relação ao potencial hidrocínético em um trecho do rio Negro nas seis vilas indígenas do município de São Gabriel da Cachoeira os resultados indicaram que o potencial é maior em São Luís, Cabari, Ilha das Flores e São Sebastião com valor superior a 0,77 kW.

Cabe ressaltar que a vila de Cabari, em São Gabriel da Cachoeira, não é um estudo de caso que representa a Amazônia Ocidental em sua totalidade. É um município com 90% da população indígena, e por tanto é um caso particular que merece análise. Neste contexto surge a dúvida de qual estratégia deve ser adotada com comunidades indígenas em termos de planejamento energético, já que o acesso a energia pode ter impactos na cultura e estilo de vida. Por tanto o direcionamento ou estratégia é o acesso aos meios para alcançar o desenvolvimento e promover a escolha pelas comunidades. A cultura possui aspectos tangíveis e intangíveis. É importante considerar que a ausência de meios de subsistência e uma melhor qualidade de vida podem destruir uma cultura e não o fato de ter acesso aos benefícios que traz a energia elétrica para educação, saúde, alimentação, informação, entre outros, como é observado atualmente nos meios de comunicação com constantes demandas das comunidades indígenas no Brasil.

Independentemente do viés ideológico do governo deve existir um planejamento energético de curto, meio e longo prazo para as comunidades da Amazônia Ocidental. Os desafios locais e globais, além das demandas de sistemas de energia elétrica, são variados e exigem que os gestores tratem o tema de forma inovadora e integrada com coordenação, monitoramento e avaliação das ações e programas instituídos. A visão holística inclui a dimensão social, econômica, política, cultural e ambiental do desenvolvimento, e vá além de aspectos técnicos de infraestrutura e consumo de energia elétrica em um período de tempo.

Os gestores devem considerar que a energia é essencial para o desenvolvimento humano e um ponto crucial para tratar grande parte dos desafios globais urgentes do presente século e do futuro. O uso de combustíveis sólidos e fósseis (lenha, carvão e petróleo), por comunidades sem acesso à energia limpa, causa inúmeras doenças e poluição ambiental, produzindo altos custos sociais e ambientais com impactos adversos em escala local, regional, nacional e internacional.

A eletrificação rural pode apoiar um futuro sustentável porque facilitam melhorias na eficiência energética; investimentos combinados com políticas públicas de meio e longo prazo para o desenvolvimento econômico e social sustentável. O desenvolvimento inclui erradicação da pobreza evitando o êxodo rural, segurança alimentar, saúde, conservação de

ecossistemas, educação, opções de geração de renda e acesso à informação. Por tanto é necessária uma mudança de paradigma no pensamento local, regional e nacional.

5.2. TRABALHOS FUTUROS E LIMITANTES DA PESQUISA

Correlacionar e mensurar a economia gerada por não utilizar mais o diesel e passar a utilizar energias renováveis na Amazônia Ocidental.

Realizar uma pesquisa de aplicação de índices sobre o nexus energia e pobreza na Amazônia Ocidental.

Limitações da pesquisa

A base utilizada nesta pesquisa foi o Censo Populacional de 2010, por tanto existe uma desatualização de 10 anos, o qual solucionado mediante ajustes com taxas de crescimento populacional para os anos de 2011 a 2020.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Bacias Hidrográficas**.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Banco de Informações de Geração - BIG**.
- ALMEIDA, R. P. D. E. **Suprimento regional de energia através de geração distribuída com recursos renováveis**. 2010. Universidade Federal de Itajubá, 2010.
- AMARAL, C. T. do; MORET, A. de S.; MARATA, J. M. C. “Luz para Todos” na Amazônia: uma reflexão acerca da contribuição do programa para fomentar o desenvolvimento sustentável em Rondônia. **Ateliê Geográfico**, v. 12, n. 2, p. 249–268, 2018.
- AMARAL, S. et al. **Evaluation of Fish Injury and Mortality Associated with Hydrokinetic Turbines**. [s.l: s.n.].
- AMARAL, S. et al. Comunidades ribeirinhas como forma socioespacial de expressão urbana na Amazônia : uma tipologia para a região do Baixo Tapajós (Pará-Brasil). **R. bras. Est. Pop**, v. 30, n. 2, p. 367–399, 2013.
- AMAZONAS ENERGIA. **Programa de Eletrificação Rural**. Disponível em: <<https://website.amazonasenergia.com/informacoes/programa-luz-para-todos/>>. Acesso em: 1 ago. 2021.
- AMIN, A. et al. How does energy poverty affect economic development? A panel data analysis of South Asian countries. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 25, p. 31623–31635, 2020.
- ANYI, M.; KIRKE, B. Evaluation of small axial flow hydrokinetic turbines for remote communities. **Energy for Sustainable Development**, v. 14, n. 2, p. 110–116, 2010. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77954816902&doi=10.1016%2Fj.esd.2010.02.003&partnerID=40&md5=40032c9ddb74f179f896a4fd6bc188cb>>.
- ARAÚJO, C. de F. **Eletrificação rural em comunidades isoladas na Amazônia: introdução da energia solar fotovoltaica na reserva extrativista do rio Unini**, AM. 2014. Universidade Federal do Amazonas, 2014.
- ARAÚJO, S. et al. Análise socioeconômica de agricultores da comunidade quilombola do Abacatal , Ananindeua, estado do Pará, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 7, n. 1, p. 30–37, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA - ABRADÉE. **Sistema Interligado**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br>>. Acesso

em: 15 nov. 2017.

BADRUL SALLEH, M.; KAMARUDDIN, N. M.; MOHAMED-KASSIM, Z. Savonius hydrokinetic turbines for a sustainable river-based energy extraction: A review of the technology and potential applications in Malaysia. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 36, p. 100554, 2019. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138819303832>>.

BARRETO, E. J. F. et al. **Tecnologias de Energias Renováveis - Soluções Energéticas para a Amazônia**. 1. ed. [s.l.: s.n.]

BARRETO, R. **Metodologia com emprego de SIG para identificação de micro regiões com potencial para geração de energia elétrica com turbinas hidrocínéticas**. 2004. Universidade de Brasília, 2004.

BASTOS, R. de. **Implantação e sustentabilidade do Programa Luz para Todos no Estado do Amazonas**. 2014. Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo, 2014.

BERNARDES, R. S.; COSTA, A. A. D. da; BERNARDES, C. Projeto Sanear Amazônia: tecnologias sociais e protagonismo das comunidades mudam qualidade de vida nas reservas extrativistas. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 48, p. 263–280, 2018.

BEVELHIMER, M. S. M. S.; DENG, Z. D. D.; SCHERELIS, C. Characterizing large river sounds: Providing context for understanding the environmental effects of noise produced by hydrokinetic turbines. **JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA**, v. 139, n. 1, p. 85–92, 2016.

BHATIA, M.; ANGELOU, N. Beyond Connections Energy Access Redefined. World Bank. Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). **The World Bank**, p. 1–224, 2015.

BITTENCOURT, M. de P.; NUNES, M. A. Avaliação de potencial hidrocínético remanescente a jusante de uhes na bacia hidrográfica do rio tietê. (S. M. Avila, Ed.) In: Proceedings of the XXXVII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, Brasília. **Anais...** Brasília: 2016. Disponível em: <<http://www.periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/viewFile/23294/16719>>.

BOLAÑOS, G. A. I. **Estudo e melhoramento de uma turbina hidrocínética multiestágio**. 2015. Universidade Federal de Itajubá, 2015.

BRADLEY, P. T. T.; EVANS, M. D. D.; SEITZ, A. C. C. Characterizing the Juvenile Fish Community in Turbid Alaskan Rivers to Assess Potential Interactions with Hydrokinetic Devices. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 144, n. 5, p. 1058–1069,

2015. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84940706897&doi=10.1080%2F00028487.2015.1064474&partnerID=40&md5=ae59a3fa0ed90c459285260d9446b23f>>.

BRASIL. Plano Amazônia Sustentável. Diretrizes para o desenvolvimento sustentável da Amazônia brasileira. [s.l: s.n.].

BRASIL. DECRETO Nº 10.221, DE 5 DE FEVEREIRO DE 2020. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-10.221-de-5-de-fevereiro-de-2020-241828428>>. Acesso em: 1 mar. 2020.

BRASIL, A. C. P. et al. Turbina Hidrocinética Geração 3, 2007a. . Disponível em: <<http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081205101337-it46.pdf>>.

BRASIL, A. C. P. et al. Turbina Hidrocinética G3 Desenvolvimento de Produto. In: Citenel, **Anais...2007b.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/citenel2007/pdf/it46.pdf>>.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. DECRETO Nº 9.357, DE 27 DE ABRIL DE 2018. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2018/decreto-9357-27-abril-2018-786626-publicacaooriginal-155450-pe.html>>. Acesso em: 1 dez. 2019.

CANAL ENERGIA. Universalização de RR será concluída até 2022. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53150708/universalizacao-de-rr-sera-concluida-ate-2022>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

CARNEIRO, T. C.; CARVALHO, P. C. M. de. Caracterização de Potencial Eólico : Estudo de Caso para Maracanaú (Ce), Petrolina (Pe) E Parnaíba (Pi). **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. VI, p. 1–10, 2015.

CARTAXO, E. F. Fornecimento de serviço de energia elétrica para comunidades isoladas da Amazônia: reflexões a partir de um estudo de caso. 2000. Universidade de Campinas, 2000.

CARTAXO, E.; JANNUZZI, G. Fornecimento de serviço de energia elétrica para comunidades isoladas da amazônia: um estudo de caso, 2006. .

CENTRE FOR ECOLOGY & HYDROLOGY. Collision risks between marine renewable energy devices and mammals , fish and diving birds. [s.l: s.n.].

CENTRE FOR ECOLOGY & HYDROLOGY et al. Collision risks between marine renewable energy devices and mammals , fish and diving birds. [s.l: s.n.].

CERPCH. pch noticias & sph news. Revista 26ItajubáCERPCH, , 2005. .

COHN-HAFT, M.; NAKA, L. N.; FERNANDES, A. M. Padrões de distribuição da avifauna

da várzea dos rios Solimões e Amazonas. In: [s.l: s.n.]

COIMBRA, C.; SANTOS, R. V. **Perfil Epidemiológico da População Indígena no Brasil : Considerações Gerais.** [s.l: s.n.].

COLLAÇO, F. M. D. A.; BERMANN, C. Perspectivas da Gestão de Energia em âmbito municipal no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 213–235, 2017.

COPPING, A. et al. An international assessment of the environmental effects of marine energy development. **Ocean & Coastal Management**, v. 99, n. C, p. 3–13, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569114000969>>.

CPT. **Peixes de água doce do Brasil.** Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/artigos/peixes-de-agua-doce-do-brasil-mandi-pimelodus-maculatus>>.

CRUZ, J. da S. Modelo Vazão-Velocidade Para Avaliação De Potencial Hidrocinético. 2018.

DAMACENO, A. B.; ORTEGA, G. P.; TURCI, L. C. B. Uso da caça de subsistência no assentamento santa luzia, Cruzeiro do sul, Acre. **Pubvet**, v. 13, n. 2, p. 1–8, 2019.

DAVID, E. et al. Demanda Contratada E Consumo De Energia Elétrica Em Unidades Armazenadoras De Grãos. **Energia Na Agricultura**, v. 31, n. 4, p. 305, 2016.

DE OLIVEIRA, B. F. A. et al. Prevalência de hipertensão arterial em comunidades ribeirinhas do Rio Madeira, Amazônia Ocidental Brasileira. **Cadernos de Saude Publica**, v. 29, n. 8, p. 1617–1630, 2013.

DHAKOUANI, A. et al. Long-term Optimisation Model of the Tunisian Power System. **Energy**, v. 141, p. 550–562, 2017.

DI LASCIO, M. A. .; BARRETO, E. J. F. **Energia e Desenvolvimento Sustentável para a Amazônia Rural Brasileira: Eletrificação de Comunidades Isoladas.** 1. ed. [s.l: s.n.]

ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE - EPRI. **Evaluation of Fish Injury and Mortality Associated with Hydrokinetic Turbines**. Palo Alto, USA: EPRI, 2011. .

ELETROBRAS. **Consumo de energia dos aparelhos elétricos.** Disponível em: <<https://www.eletronorte.com/pci/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>>.

ELETRONORTE. **Projeto Ribeirinhas.** Disponível em: <http://www.eletronorte.gov.br/EM_Programas_Ribeirinhas/objetivo.asp>. Acesso em: 15 nov. 2017.

ELOY, L.; LASMAR, C. Urbanização e transformação dos sistemas indígenas de manejo de recursos naturais: O caso do alto rio Negro (Brasil). **Acta Amazonica**, v. 41, n. 1, p. 91–102, 2011.

ELS, R. H. van et al. Hydrokinetic Propeller Type Turbine for the Electrification of Isolated Householders or Community and Social End-Users. In: 17th International Congress of Mechanical Engineering., São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2003. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/pt/wp-content/anais/cobem/2003/html/pdf/COB03-1642.pdf>>.

ELS, R. H. Van. **Sustentabilidade de projetos de implementação de aproveitamentos hidroenergéticos em comunidades tradicionais na Amazônia: casos no Suriname e Amapá**. 2008. Universidade de Brasília, 2008.

ELS, R. H. van; BRASIL, A. C. P. The Brazilian experience with hydrokinetic turbines. **Energy Procedia**, v. 00, p. 259–264, 2015. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S1876610215010966/1-s2.0-S1876610215010966-main.pdf?_tid=558e3844-a0f3-11e6-9f48-00000aab0f01&acdnt=1478087946_c8617c3eafb511b58bf355447119d70f>.

ELS, R. H. van; CAMPOS, C. de O.; SALOMON, L. R. . **Turbinas Hidrocinéticas no Brasil** Ministério de Minas e Energia, 2008. . Disponível em: <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Hidroeletrico.pdf>.

EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL. **Boletim Agrometeorológico Série Anual: 2016 – Estação Agroclimatológica da Embrapa Amazônia Ocidental na Rodovia AM- 010, Km 29**. [s.l: s.n.].

EME, L. C. et al. Hydrokinetic turbines for power generation in Nigerian river basins. **Water Practice and Technology**, v. 14, n. 1, p. 71–80, 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA- EPE. **Energia Renovável - Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. [s.l: s.n.]

ENGENHARIA DE SISTEMAS DE CONTROLE E AUTOMATAÇÃO - ESCA; COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Alternativas para o abastecimento hídrico de São Gabriel da Cachoeira - AM**. [s.l: s.n.].

EPE. **Sistemas Isolados**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/sistemas-isolados>>.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados**. [s.l: s.n.].

- ESMAP. **Global Solar Atlas**. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/download/brazil>>. Acesso em: 15 jan. 2021.
- FALANI, S. Y. A. De et al. Prospecção Tecnológica para a Geração Eólica. In: Brazil Windpower 2015, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 2015.
- FELIZOLA, E. R.; MAROCCOLO, J. F.; FONSECA, M. R. S. Identificação de áreas potenciais para implantação de turbina hidrocínética através da utilização de técnicas de geoprocessamento. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 2549–2556, 2007.
- FERREIRA, D. da S.; FERREIRA, S. MODO DE VIDA E USO DOS RECURSOS NATURAIS EM UMA COMUNIDADE RIBEIRINHA DAS ILHAS DE ABAETETUBA/PA. **Revista Terceira Margem Amazônia**, v. 1, n. 2, p. 22, 2012. Disponível em: <[http://www.revistaterceiramargem.com/index.php/terceiramargem/search/authors/view?firstName=Denison&middleName=da Silva&lastName=Ferreira&affiliation=](http://www.revistaterceiramargem.com/index.php/terceiramargem/search/authors/view?firstName=Denison&middleName=da%20Silva&lastName=Ferreira&affiliation=)>.
- FILHO, G. L. T. The state of art of Hydrokinetic power in Brazil. In: Innovative Small Hydro Technologies, Buffalo. **Anais...** Buffalo: 2003. Disponível em: <http://sites.google.com/site/sharingexperiencesite/publikasi_ilmiah/ThestateofartofHydrokineticpowerinBrazil.pdf>.
- FILHO, G. L. T.; BOTAN, A. carlos B.; SOUZA, J. C. S. de. **Energia Hidrocínética no Norte do Brasil** Itajubá, 2016. .
- FRANZINELLI, E. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 4, p. 587–596, 2011.
- FRAXE, T. de J. P.; PEREIRA, H. dos S.; WITKOSKI, A. C. **Comunidades ribeirinhas amazônicas: modos de vida e uso dos recursos naturais**. [s.l: s.n.]
- FREITAS, I. A. de et al. Perfil sociodemográfico e epidemiológico de uma comunidade quilombola na Amazônia Brasileira. **Revista Cuidarte**, v. 9, n. 2, p. 2187–2200, 2018. Disponível em: <<http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?sid=0ae9faf3-4ba5-4a56-b715-bb4681b84ac5@sessionmgr4003&vid=0&hid=4103&bdata=Jmxhbmc9cHQYnImc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZzY29wZT1zaXRl#db=lth&AN=109999041>>.
- FUSO NERINI, F. et al. Rural electrification options in the Brazilian Amazon. A multi-criteria analysis. **Energy for Sustainable Development**, v. 20, n. 1, p. 36–48, 2014.
- GALDINO, M. et al. O Contexto das Energias Renováveis no Brasil. **Revista da DIRENG**,

p. 17–25, 2009.

GAMA, A. S. M. et al. Inquérito de saúde em comunidades ribeirinhas do Amazonas, Brasil. **Cadernos de Saude Publica**, v. 34, n. 2, p. 1–16, 2018.

GARCILASSO, V. P.; COELHO, S. T.; GARCILASSO, V. P. Geração de eletricidade em comunidades isoladas a partir de resíduos de biomassa: uma opção para a região amazônica. **Inclusão Social**, v. 12, n. 1, p. 208–212, 2018.

GARDUMI, F. et al. From the development of an open-source energy modelling tool to its application and the creation of communities of practice : The example of OSeMOSYS. v. 20, 2018.

GIODA, A. Características e procedência da lenha usada na cocção no Brasil. **Estudos Avancados**, v. 33, n. 95, p. 133–149, 2019.

GOMES, K. M. et al. Anemia e parasitoses em comunidade ribeirinha da Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Análises Clínicas**, 2016. Disponível em: <<http://www.rbac.org.br/artigos/anemia-e-parasitoses-em-comunidade-ribeirinha-da-amazonia-brasileira/>>.

GONÇALVES, C.; POSSAMAI, O.; BRASIL, A. C. P. Metodologias para a implantação de turbinas hidrocinéticas na Amazônia. (SNPTEE, Ed.) In: XX XNPTEE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Recife. **Anais...** Recife: 2009.

GONÇALVES, J. S. N. **Avaliação do potencial eólico para geração de energia elétrica**. 2015. Instituto Superior de Energia de Lisboa, 2015.

GONDIM, L. et al. Aplicação da Matriz de Leopold como ferramenta de avaliação dos aspectos e impactos ambientais em uma fábrica de botijões. **Revista Tecnológica**, v. 37, n. 1, p. 111–124, 2016.

GONZÁLEZ-EGUINO, M. Energy poverty: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 377–385, 2015.

GUNEY, M. S.; KAYGUSUZ, K. Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 2996–3004, 2010.

GÜNEY, M. S.; KAYGUSUZ, K. Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 2996–3004, 2010. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77957042693&doi=10.1016%2Fj.rser.2010.06.016&partnerID=40&md5=83bcf7b836fb4c93eb117d37b1f5fa45>>.

- HOLANDA, P. da S. et al. Assessment of hydrokinetic energy resources downstream of hydropower plants. **Renewable Energy**, v. 101, p. 1203–1214, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84991293692&doi=10.1016%2Fj.renene.2016.10.011&partnerID=40&md5=d2539b06c7dcc8f86528756efd071326>>.
- HOWELLS, M. et al. OSeMOSYS: The Open Source Energy Modeling System. An introduction to its ethos, structure and development. **Energy Policy**, v. 39, n. 10, p. 5850–5870, 2011.
- IDAM. **São Gabriel da Cachoeira**. Disponível em: <<http://www.idam.am.gov.br/tag/sao-gabriel-da-cachoeira/page/2/>>. Acesso em: 10 jan. 2021.
- INPE. **Da canoa à rabeta : Estrutura e Conexão das Comunidades Ribeirinhas no Tapajos (PA). Pesquisa de Campo Jun / Jul de 2009**. [s.l: s.n.].
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA- IBGE. **Censo Populacional**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 3 set. 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA- IBGE. **Base de informações do Censo Demográfico 2010 : Resultados do Universo por setor censitário**. [s.l: s.n.].
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA- IBGE. **Mapas temáticos IBGE**. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/geomorfologia.html>>. Acesso em: 1 out. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA- IBGE. **Estimativas da população**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 1 out. 2019.
- INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Xingu Solar Como a energia renovável pode beneficiar o Território Indígena do Xingu**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/relatorio_xingusolar.pdf>.
- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Peixes, pescarias e os modos de viver no médio Rio Negro**. [s.l: s.n.].
- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **Etnias do Rio Negro**. Disponível em: <https://pib.socioambiental.org/pt/Povo:Etnias_do_Rio_Negro>. Acesso em: 10 jan. 2021.
- JEAN, W. et al. A GIS for Rural Electrification Strategies in the Brazilian Amazon. **Papers in Applied Geography**, v. 7, n. 3, p. 239–255, 2021. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1080/23754931.2020.1870539>>.

JOHANSSON, T. B. et al. **Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future**, Cambridge University Press, UK. IASSA ed. [s.l.: s.n.]

JOHNSON, J. B. et al. **Characterization of the Tanana River at Nenana, Alaska, to Determine the Important Factors Affecting Site Selection, Deployment, and Operation of Hydrokinetic Devices to Generate Power**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/eb31/8f46781d537c34c8970a843e761ee40b980b.pdf>>.

JOHNSON, J. B.; PRIDE, D. J. River, tidal and ocean current hydrokinetic energy technologies: Status and future opportunities in Alaska. **Alaska Center for Energy and Power**, 2010.

JUNIOR, E. M. dos R. **Avaliação do programa “luz para todos” no estado do Amazonas sob o aspecto da qualidade da continuidade do serviço de energia elétrica**. 2015. Universidade Federal do Amazonas, 2015.

JUNIOR, H. G. dos S. et al. Inquérito de saúde materno infantil do povo indígena Baniwa, Noroeste Amazônico, Brasil: Resultados gerais. (Abrasco, Ed.) In: Anais do Congresso Brasileiro de Saúde Coletiva, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: 2019.

JUNIOR, J. C. G. F.; RODRIGUES, M. G. Um Estudo Sobre a Energia Eólica No Brasil. **Revista Científica Multidisciplinar das Faculdades São José**, v. 5, n. 1, p. 02–13, 2015.

KAYGUSUZ, K. Energy services and energy poverty for sustainable rural development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 2, p. 936–947, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.003>>.

KAYGUSUZ, K.; GU, M. S. Hydrokinetic energy conversion systems : A technology status review. v. 14, p. 2996–3004, 2010.

KILLEN, S. S. et al. Environmental stressors alter relationships between physiology and behaviour. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 28, n. 11, p. 651–658, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2013.05.005>>.

KIRINUS, E. P.; MARQUES, W. C. Viabilidade do uso de turbinas hidrocínéticas na Plataforma Continental Sul-Sudeste Brasileira. **Scientia Plena**, v. 11, p. 1–10, 2015.

KLARIN, T. The Concept of Sustainable Development: From its Beginning to the Contemporary Issues. **Zagreb International Review of Economics & Business**, v. 21, n. 1, p. 67–94, 2018.

KUHL, R. M.; OLIVEIRA, G. M. T. da S. Análises da viabilidade econômica da gaseificação de caroço de açaí no restaurante universitário da universidade federal rural da

- amazônia. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 25994–26011, 2019.
- KUMAR, D.; SARKAR, S. A review on the technology, performance, design optimization, reliability, techno-economics and environmental impacts of hydrokinetic energy conversion systems. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, v. 58, p. 796–813, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115016305>>.
- KUSAKANA, K. Optimization of the daily operation of a hydrokinetic–diesel hybrid system with pumped hydro storage. **Energy Conversion and Management**, v. 106, p. 901–910, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890415009437>>.
- LAGO, L. I.; PONTA, F. L.; CHEN, L. Advances and trends in hydrokinetic turbine systems. **Energy for Sustainable Development**, v. 14, n. 4, p. 287–296, 2010. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78649630927&doi=10.1016%2Fj.esd.2010.09.004&partnerID=40&md5=32fbfb85a9d4cf53d2a785d540002ffe>>.
- LANNES, M. **Sustentabilidade de comunidades isoladas com ênfase em gestão da água, gestão de energia e dimensão psicossocial: os Pelotões Especiais de Fronteira**. 2017. Universidade de Brasília, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/23369>>.
- LAWS, N. D.; EPPS, B. P. Hydrokinetic energy conversion: Technology, research, and outlook. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 1245–1259, 2016a. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84953791975&doi=10.1016%2Fj.rser.2015.12.189&partnerID=40&md5=6d6a96a7d59d4239bed7a2e259a75bc0>>.
- LAWS, N. D.; EPPS, B. P. Hydrokinetic energy conversion: Technology, research, and outlook. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 1245–1259, 2016b. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84953791975&doi=10.1016%2Fj.rser.2015.12.189&partnerID=40&md5=6d6a96a7d59d4239bed7a2e259a75bc0>>.
- LEAL, J. F. S. et al. Abordagem educativa dialógica da (o) enfermeira (o) junto a mães de crianças quilombolas sobre parasitoses intestinais em Santarém - PA. In: 66 Congresso Brasileiro de Enfemagem, **Anais...**2014.
- LEOPOLD, L. et al. A Procedure for Evaluating Sub-regional Studies. **Sub-Regional**

Planning Studies: an Evaluation, v. 2, p. 170–189, 1973.

LÉVY, J. P.; BELAÏD, F. The determinants of domestic energy consumption in France: Energy modes, habitat, households and life cycles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. June 2017, p. 2104–2114, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.022>>.

LIBERATO, A. M.; BRITO, J. I. B. de. INFLUÊNCIA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BALANÇO HÍDRICO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 7, p. 643–652, 2010.

LIMA, T. M. dos S.; PEREIRA, M. G.; LIMA, A. G. D. Estado Da Arte Sobre Enteroparasitos Em Comunidades Indígenas Do Brasil. **Espaço Ameríndio**, v. 11, n. 2, p. 274, 2017.

LIRA, T. de M.; CHAVES, M. do P. S. R. Comunidades ribeirinhas na Amazônia : organização sociocultural e política. **Interações (Campo Grande)**, v. 17, n. 1, p. 66–76, 2016.

LÖFFLER, K. et al. Designing a model for the global energy system-GENeSYS-MOD: An application of the Open-Source Energy Modeling System (OSeMOSYS). **Energies**, v. 10, n. 10, 2017.

MAC DONALD, R. Instrumentation platform and Maximum Power Point Tracking control for a Hydrokinetic turbine. **Master Thesis**, p. 1–135, 2017.

MAGALHÃES, G.; MADALENA, M.; CAVALCANTE, D. A. Implicações da implantação de usinas hidrelétricas e Unidades de Conservação na bacia hidrográfica do rio Amazonas. **Equador**, v. 9, n. 3, p. 233–251, 2020.

MAIA, C. **Gastos com combustíveis e despesas afetam resultado, aponta Eletrobras**. Disponível em: <<https://valor.globo.com/empresas/noticia/2018/11/13/gastos-com-combustiveis-e-despesas-afetam-resultado-aponta-eletobras.ghtml>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

MATHYAS, M.; SOUZA, A. A.; CASSARES, M. A. R. ENERGIA SOLAR POTENCIALIZA PRODUÇÃO EXTRATIVISTA NA AMAZÔNIA. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado. **Anais...** Gramado: 2018.

MATIELLO, S. et al. Energia E Desenvolvimento: Alternativas Energéticas Para Áreas Isoladas Da Amazônia. **Revista Presença Geográfica**, v. 5, n. 1, p. 11, 2018.

MENDONÇA, I. M. et al. Perspectivas de geração de energia eólica no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 18598–18611, 2019.

MINISTÉRIO DA CIDADANIA. **Microdados**. Disponível em: <<https://aplicacoes.mds.gov.br/sagi/portal/index.php?grupo=165>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. **Plano de etnodesenvolvimento do Território Rio Negro da Cidadania Indígena**. [s.l: s.n.].

MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL - MDS. **Cadastro Único Nacional**. Disponível em: <<http://mds.gov.br/assuntos/cadastro-unico>>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030PNE**. [s.l: s.n.].

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Luz para todos: Manual para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados**. [s.l.] Ministério de Minas e Energia, 2015. . Disponível em: <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/manual_sistemas_isolados_16_11_15.pdf>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Programa de Eletrificação Rural**. Disponível em: <<https://www.mme.gov.br/luzparatodos/asp/>>. Acesso em: 1 dez. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Caderno da Região Hidrográfica Amazônica**. [s.l: s.n.]

MORAN, E. F. **Adaptabilidade Humana**. Editora SE ed. [s.l: s.n.]

MORANTE, F.; ZILLES, R. Principais fatores que influenciam a demanda e o consumo de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos domiciliares. (CBE, Ed.) In: X Congresso Brasileiro de Energia, XCBE, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 2004.

NARAYAN, N. et al. The long road to universal electrification: A critical look at present pathways and challenges. **Energies**, v. 13, n. 3, p. 1–20, 2020.

NASCIMENTO, L. **Conta de luz para os brasileiros em 2020 pode ter aumento de 2,42%**. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-10/conta-de-luz-para-os-brasileiros-em-2020-pode-ter-aumento-de-242>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

NETO, F. R.; FURTADO, L. G. A ribeiridade amazônica: algumas reflexões. **cadernos de campo**, v. 24, n. 24, p. 158–182, 2015.

NEW YORK STATE AND ENERGY RESEARCH AUTHORITY DEVELOPMENT. **Marine and Hydrokinetic Environmental Policy Workshop Marine and Hydrokinetic Technology Background and Perspective for New York State NYSERDA 's Promise to New Yorkers : New Yorkers can count on NYSERDA for**. [s.l: s.n.].

OLIVEIRA, V. A. F. de. **Modelagem para viabilidade de turbinas hidrocínéticas em**

comunidades isoladas. 2016. Universidade de Brasília, 2016.

OLIVEIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. H.; GOMES, R. O. Energia solar: um passo para o crescimento. **REGRAD - Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM - ISSN 1984-7866**, v. 10, n. 01, p. 377–389, 2017. Disponível em: <<http://www.revista.univem.edu.br/REGRAD/article/view/2081>>.

ONS. **Sistema Interligado Nacional**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>.

OSEMOSYS ORG. **OSeMOSYS**. Disponível em: <<https://osemosys.readthedocs.io/en/latest/manual/Introduction.html>>. Acesso em: 10 out. 2019.

PINHEIRO, L. a.; BORGES, J. T. Avaliação hidroquímica qualitativa das águas do baixo rio Negro. **Revista eletrônica de petróleo e gás, runPetro**, v. 2, p. 23–32, 2013.

PNUD; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO; INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Atlas de Desenvolvimento Humano**. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_uf/amazonas>. Acesso em: 18 maio. 2018.

POLAGYE, B. L.; MURPHY, P. Acoustic Characterization of a Hydrokinetic Turbine. In: Proceedings of the 11th European Wave and Tidal Energy Conference, **Anais...2015**.

PONTES, I. P. da S.; RIBEIRO, P. A.; NASCIMENTO, C. F. P. do. Relações Socioculturais de Gênero em Comunidades Tradicionais na Amazônia: os desafios vivenciados na comunidade São Lázaro/AM. In: Seminário Internacional Fazendo Gênero 10 desafios atuais dos feminismos, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: 2012.

PORTO, N. P.; PROENÇA, A. R. G. B. Análise socioeconômica do turismo comunitário na Comunidade Indígena Nova Esperança, RDS Puranga Conquista (AM). **Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur)**, v. 12, n. 4, p. 506–530, 2019.

PROCEL. **Dicas de Economia de Energia**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>>. Acesso em: 15 fev. 2021.

RAMÍREZ, R. M.; CUERVO, F. I.; RICO, C. A. M. Technical and financial valuation of hydrokinetic power in the discharge channels of large hydropower plants in Colombia: A case study. **Renewable Energy**, v. 99, p. 136–147, 2016.

RIJKSWATERSTAAT WATER. **Potential effects of electromagnetic fields in the Dutch North Sea Phase 1 – Desk Study**. [s.l: s.n.].

ROCHA, A. L. S. **Populações tradicionais e o acesso à terra na Amazônia: Uma “nova”**

reforma agrária e a compatibilização de direitos culturais, territoriais e ambientais Belém, 2014. Disponível em:

<<http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=956f9d4b926a8af0>>.

RODRIGUES, A. de F. **ANÁLISE DA VIABILIDADE DE ALTERNATIVAS DE SUPRIMENTO DESCENTRALIZADO DE ENERGIA ELÉTRICA A COMUNIDADES RURAIS DE BAIXA RENDA COM BASE EM SEU PERFIL DE DEMANDA**. 2006. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

RUZANY, M. H. et al. **Adolescentes e Jovens de Populações Ribeirinhas na Amazônia - Brasil**. 1 edição ed. [s.l: s.n.]

S.D. **Peixes encontrados nas águas de Barcelos-AM**. Disponível em: <<http://rionegroam.blogspot.com/2011/10/peixes-encontrados-nas-aguas-de.html>>.

SACHS, J. D. et al. Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 9, p. 805–814, 2019.

SANTOS, C. R. G. dos; SALGADO, M. S.; PIMENTEL, M. A. da S. **RIBEIRINHOS DA AMAZÔNIA: MODO DE VIDA E RELAÇÃO COM A NATUREZA**, 2012. .

SANTOS, I. F. S. dos et al. Energy potential and economic analysis of hydrokinetic turbines implementation in rivers: An approach using numerical predictions (CFD) and experimental data. **Renewable Energy**, v. 143, p. 648–662, 2019. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119306706>>.

SANTOS, S. M. A. dos. **GERAÇÃO DE ELETRICIDADE EM COMUNIDADES ISOLADAS NA REGIÃO AMAZÔNICA COM A UTILIZAÇÃO DE GASEIFICADORES DE BIOMASSA**. 2006. Universidade de São Paulo, 2006.

SARKODIE, S. A.; ADAMS, S. Electricity access, human development index, governance and income inequality in Sub-Saharan Africa. **Energy Reports**, v. 6, p. 455–466, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.02.009>>.

SCHERER, E. Mosaico Terra-Água : a Vulnerabilidade Social Ribeirinha Na Amazônia – Brasil. In: VIII Congresso Luso-Afro-Brasileiro de Ciências Sociais, **Anais...**2004.

SCHNEIDER, F. P. **Comparação de sistemas de geração de energia utilizando gerador a diesel e painéis fotovoltaicos para áreas rurais isoladas**. 2019. Unviersidade Estadual do Oeste do Paraná, 2019.

SCHRAMM, M. P.; BEVELHIMER, M.; SCHERELIS, C. Effects of Hydrokinetic Turbine Sound on the Behavior of Four Species of Fish within an Experimental Mesocosm. **Fisheries Research**, v. 190, p. 1–14, 2017.

- SCHRAMM, M. P.; SCHERELIS, C.; BEVELHIMER, M. S. Effects of hydrokinetic turbine noise on the behavior of four species of fish within experimental mesocosms. **Fisheries Research**, v. 190, p. 1–14, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2017.01.012>>.
- SEPÚLVEDA, S. et al. **Agroenergia e Desenvolvimento de Comunidades Rurais Isoladas**. [s.l: s.n.]
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Geodiversidade do Estado do Amazonas. Programa de geologia do Brasil**. [s.l: s.n.]
- SEVERINO, M. M. **Avaliação técnico-econômica de um sistema híbrido de geração distribuída para atendimento a comunidades isoladas da Amazônia**. 2008. Universidade de Brasília, 2008.
- SILVA, D. B. da. **Análise de recursos energéticos em microrredes inteligentes**. 2017. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
- SILVA, S. S. da C. **Estrutura e dinâmica das relações familiares de uma comunidade ribeirinha da região amazônica**. 2006. Universidade de Brasília, 2006.
- SILVA, S. S. da C. et al. Rotinas Familiares de Ribeirinhos Amazônicos: Uma possibilidade de Investigação. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 26, n. 2, p. 341–350, 2010.
- SOARES, G. F.; SILVA, V. P. e; GONÇALVES, A. A. Limitações no uso de energias renováveis para a eletrificação rural do Amazonas. In: Seminário Nacional de Produção e Trasmissão de Energia Elétrica, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 2007.
- SOUSA, D. G. et al. Estrutura Populacional e Reprodução do Anujá *Trachelyopterus galeatus*, (Linnaeus, 1766), em Uma Área de Uso Sustentável da Zona Costeira Amazônica. **Biota Amazônia**, v. 6, n. 2, p. 41–49, 2016.
- SOUZA, J. do S. A. de et al. O USO DE SIG PARA IDENTIFICAÇÃO DE POTENCIAL HIDRÁULICO DO DISTRITO FEDERAL, VISANDO A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. In: IV Congresso Brasileiro de Planejamento Energético., Itajubá. **Anais...** Itajubá: 2004.
- SOUZA, R. C. R. Energias alternativas: desafios e possibilidades para a amazônia. **T&C Amazônia**, v. 1, n. 1, p. 74–80, 2003.
- SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS -SUFRAMA. **Amazônia Ocidental**. Disponível em: <<http://www.suframa.gov.br/invest/zona-franca-de-manaus-amazonia-ocidental.cfm>>. Acesso em: 1 out. 2019.
- TEIXEIRA, A.; RESENDE, R. Pequena Comunidade Rural Do Município De São João D ’

Aliança – Go. **Ciência Florestal**, v. 13, p. 159–165, 2003.

THE WORLD BANK GROUP. **Beyond Connections: Energy Access Redefined**The World Bank. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/Topics/Energy and Extract/Beyond_Connections_Energy_Access_Redefined_Exec_ESMAP_2015.pdf](http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/Topics/Energy%20and%20Extract/Beyond_Connections_Energy_Access_Redefined_Exec_ESMAP_2015.pdf)>.

TOMALSQUIM, M. T. et al. **Energia Renovável - Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. 1. ed. [s.l: s.n.]

TOMALSQUIM, M. T. **Energia Renovável - Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. 1. ed. [s.l: s.n.]

TRIGOSO, F. B. M. **Demanda de energia elétrica e desenvolvimento sócio-econômico: o caso das comunidades rurais eletrificadas com sistemas fotovoltaicos**. 2004. Universidade de São Paulo, 2004.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Report to Congress on the Potential Environmental Effects of Marine and Hydrokinetic Energy Technologies**U.S. Department of Energy Wind and Water Power Program. [s.l: s.n.].

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY - DOE. **Report to Congress on the Potential Environmental Effects of Marine and Hydrokinetic Energy Technologies**U.S. Department of Energy Wind and Water Power Program. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/wind/pdfs/doe_eisa_633b.pdf>.

UNITED NATIONS. **17 Goals to Transform Our World**. Disponível em: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/>>. Acesso em: 16 nov. 2021.

VALOR AMAZÔNICO. **Programa Luz para Todos garante energia aos moradores de Boca do Acre**. Disponível em: <<https://valoramazonico.com/2020/03/18/programa-luz-para-todos-garante-energia-aos-moradores-de-boca-do-acre/>>. Acesso em: 5 maio. 2020.

VAN ELS, R. H. et al. The Brazilian experience of rural electrification in the Amazon with decentralized generation - The need to change the paradigm from electrification to development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 3, p. 1450–1461, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.031>>.

VAN ELS, R. H.; DE SOUZA VIANNA, J. N.; BRASIL, A. C. P. The Brazilian experience of rural electrification in the Amazon with decentralized generation – The need to change the paradigm from electrification to development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 3, p. 1450–1461, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111005776>>.

- VASQUES, M. da S. **Sustentabilidade agrícola na comunidade Ilha das Flores - São Gabriel da Cachoeira - Amazonas**. 2014. Universidade Federal do Amazonas, 2014.
- VELÁZQUEZ, S. M. S. G. et al. A Geração de Energia Elétrica em Comunidades Isoladas na Amazônia a partir de Biomassa Sustentável: Projeto ENERMAD. **XIII Congresso Brasileiro de Energia - XIII CBE**, n. 11, p. 14, 2010. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/xiiicbe_enermad.pdf>.
- VENKATA RAMANA, P. et al. **The State of the Global Clean and Improved Cooking SectorESMAP and GACC**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/21878/96499.pdf>>.
- VIEIRA, H. C.; PEDROZO, E. A. Eletrificação na Amazônia brasileira: contexto e possibilidades rumo ao desenvolvimento local. (Engema, Ed.) In: Engema: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Engema, 2015.
- WARD, J. et al. Assessing the effects of marine and hydrokinetic energy development on marine and estuarine resources. In: MTS/IEEE Seattle, OCEANS 2010, **Anais...**2010. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78651318365&doi=10.1109%2FOCEANS.2010.5664064&partnerID=40&md5=a078ae82e215d1890aa4262a2d879200>>.
- XAVIER, D. J. C. et al. O Beneficiamento Do Açaí No Projeto Modelo De Negócio De Energia Elétrica Em Comunidades Isoladas Na Amazônia – NERAM. **Pesquisadores vinculados ao Centro de Desenvolvimento Energético**, v. d, n. 1997, p. 0–7, 2006.
- YUCE, M. I.; MURATOGLU, A. Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 72–82, mar. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.037>>.
- ZEIDEMANN, V. K. O Rio das Águas Negras. **As Florestas do Rio Negro**, p. 61–87, 2001.
- ZHANG, J. et al. Impact assessment of marine current turbines on fish behavior using an experimental approach based on the similarity law. **Journal of Marine Science and Technology**, p. 1–12, 2016. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00773-016-0405-y%5Cnpapers3://publication/doi/10.1007/s00773-016-0405-y>>.

APÊNDICE I

Tabela 15. Comunidades sem energia elétrica no estado do Acre

Município	Dom. (2010)	Morad. (2010)	Morad. (2019)	Dom. (2019)	ARA	TI	UC	
Assis Brasil	49	247	312	62		Cabeceira do Rio Acre	EE Rio Acre	
	49	201	254	51			Resex Chico Mendes	
Brasília	27	131	166	33	Acari, Quixadá		Resex Chico Mendes	
Cruzeiro do Sul	107	553	700	140	Tracuá		Resex Riozinho da Liberdade	
Feijão	120	738	934	187		Igarapé do Caucho	FN de Santa Rosa do Purus	
	150	854	1080	216		Kaxinawa Nova Olinda		
	89	455	576	115		Jaminawa/Envira	FN de Santa Rosa do Purus	
	246	1265	1600	320		Kaxinawa do Rio Humaitá		
	210	1082	1369	274				
	858	4260	5389	1078				
	100	462	584	117		Berlim Recreio	Katukina/Kaxinawa	
193	1013	1281	256	Berlim Recreio				
Jordão	154	855	1082	216		Kaxinawa Seringal Independência	Resex Alto Tarauacá	
	78	383	484	97				
	293	1594	2016	403		Kaxinawa Seringal Independência	Resex Alto Juruá	
	32	133	168	34		Igarapé Taboca do Alto Tarauacá		
	140	719	910	182		Waimiri-Atroari	Resex Alto Juruá	
Mâncio Lima	123	619	783	157	Havaí		PN da Serra do Divisor	
	130	601	760	152		Nukini		
	46	243	307	61	São Salvador	Nukini		
Manoel Urbano	38	229	290	58	Liberdade	Alto Rio Purus	PE Chandless	
	89	490	620	124				
Marechal Thaumaturgo	217	1207	1527	305		Jaminawa Arara do Rio Bagé	Resex Alto Juruá	
	300	1618	2047	409		Kaxinawa Ashaninka do Rio Breu		
	100	638	807	161		Kampa do Rio Amônea		
Porto Walter	45	217	275	55	Cruzeiro do Vale	Arara do Igarapé Humaitá	Resex Riozinho da Liberdade	
Rio Branco	42	208	263	53	Remanso		Resex Chico Mendes	
	84	337	426	85	Oriente			
	57	231	292	58				
Rodrigues Alves	21	95	120	24	Rio Azul		PN da Serra do Divisor	
	24	121	153	31	Havaí			
Santa Rosa do Purus	55	288	364	73	Santa Rosa	Alto Rio Purus	FN de Santa Rosa do Purus	
	97	547	692	138			PE de Chandless	
	58	402	509	102			FN de Santa Rosa do Purus	
Sena Madureira	229	1049	1327	265	Riozinho		FN de São Francisco Resex do Cazumbá-Iracema	
	26	120	152	30				
	32	124	157	31				
Tarauacá	203	1127	1426	285	Novo Destino		Resex Alto Tarauacá	
	90	562	711	142				
	134	794	1004	201				
	143	745	942	188				
	40	231	292	58				
	127	737	932	186				
	14	71	90	18				Sete Lagoas

Fonte: elaboração própria com base em dados de (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2010); (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2020).

Tabela 16. Comunidades ribeirinhas sem energia elétrica no estado do Amazonas

Município	Dom. (2010)	Morad. (2010)	Morad. (2019)	Dom. (2019)	ARA	QLB	TI	UC		
Amaturá	128	934	1111	185	Guaraní		Vui-Uata-In			
	73	487	579	97			Maraitá			
	7	28	33	6						
Anori	17	105	125	21			Itixi Mitari	RDS Piagaçu-Purus		
Apuí	143	524	623	104	Rio Juma			PN do Urupadi		
	32	135	161	27					FN de Jatuarana	
	10	59	70	12						
	39	184	219	36	Aripuanã-Guariba		Kawahiva do Rio Pardo	PE Igarapés do Juruena		
	13	40	48	8			Resex do Guariba			
	20	86	102	17			FN de Jatuarana			
Atalaia do Norte	30	70	83	14	Bóia		Vale Do Javari			
	293	1590	1892	315						
	11	57	68	11						
Autazes	18	113	134	22			Natal/Felicidade			
Barcelos	7	28	33	6		Tambor		RDS Amanã		
	10	39	46	8				RESEX do Rio Unini		
	5	20	24	4				Maraã Urubaxi	APA Tapuruquara	
	21	79	94	16				Jurubaxi-Téa	APA Tapuruquara	
	7	26	31	5				Yanomami		
	17	75	89	15						
	686	4597	5469	912				Yanomami	FN do Amazonas	
Barreirinha	170	787	936	156			Andirá-Marau			
	98	538	640	107						
	107	581	691	115					Rio Andirá (Parte 01)	
Benjamin Constant	109	704	838	140	Lago do São Rafael		Vale do Javari			
	10	73	87	14			Vale do Javari			
Beruri	23	110	131	22			Itixi Mitari	RDS Piagaçu Purus		
Boca do Acre	9	62	74	12				FN de Mapiá-Inauini		
	12	64	76	13				Camicua	FN de Mapiá-Inauini	
	9	64	76	13				Igarapé Capana	Resex Arapixi	
	60	273	325	54				Tocantins	Boca do Acre	
Borba	22	180	214	36	Abacaxis					
	18	109	130	22						
	24	181	215	36	Rio Juma				PN do Acari	
	25	215	256	43	Abacaxis				Coata-Laranjal	
Canutama	24	56	67	11				FN de Balata-Tufari		
	7	36	43	7				Banawá	Resex Canutama	
	216	624	742	124				São Francisco	Jacareúba/Katauixi	PN Mapinguari
	21	79	94	16					Banawá	
Carauari	10	63	75	12				RDS Uacari		
	5	8	10	2						
Careiro	24	89	106	18	Canaã			Rio Jumas		
	46	152	181	30	Tupana Igapó-Açu I			Cunhã-Sapucaia		
	190	846	1007	168	Castanho			Vista Alegre		
	106	364	433	72						
	12	50	59	10	Canaã					
	56	225	268	45	Novo Jardim			Rio Jumas		
	45	275	327	55				Lago do Marinheiro		
Coari	26	158	188	31				RDS Piagaçu-Purus		
	13	66	79	13				RDS Amanã		
	18	74	88	15						

Município	Dom. (2010)	Morad. (2010)	Morad. (2019)	Dom. (2019)	ARA	QLB	TI	UC
Codajás	35	196	233	39		Tambor		PN do Jaú
	5	33	39	7				
Eirunepé	241	1331	1584	264			Kanamari do Rio Juruá	Resex Rio Gregório
	80	458	545	91			Kulina do Médio Juruá	
	174	848	1009	168	Santo Antônio Mourão		Kulina do Médio Juruá	
	154	810	964	161				
	74	464	552	92				
	46	276	328	55			Mawetek	
Envira	167	1055	1255	209				
	167	908	1080	180			Cacau do Tarauaca	
	39	230	274	46			Kulina do Médio Juruá	
Fonte boa	87	656	780	130				RDS Mamirauá
Guajará	168	865	1029	172			Vale do Javari	
	199	1020	1214	202				
Humaitá	47	206	245	41	São Joaquim Uruapiara		Nove de Janeiro	
	15	88	105	17			Pirahã	
	29	183	218	36			Tenharim Marmelos	
Ipixuna	234	1420	1689	282				Resex Rio Gregório
	27	200	238	40			Vale do Javari	
	104	836	995	166			Kulina do Médio Juruá	
	25	165	196	33			Kulina do Médio Juruá	
Iranduba	65	266	316	53	Bela Vista II			APA Margem Direita do Rio Negro- Setor Paduari-Solimões
	125	459	546	91	Costa do Iranduba			APA Margem Direita do Rio Negro- Setor Paduari-Solimões
Itacoatiara	140	759	903	151	Curupira			
Itamarati	102	579	689	115			Kanamari do Rio Juruá	RDS Cujubim
	36	218	259	43			Kanamari do Rio Juruá	
	34	192	228	38			Deni	
Itapiranga	8	54	64	11				RDS Uatumã
Japurá	8	29	35	6			Uati-Paraná	EE Juami-Japurá
	10	58	69	12			Paraná do Boa Boa	
	20	199	237	39			Alto Rio Negro	
	11	86	102	17				
	6	28	33	6				
	72	350	416	69			Rio Apaporis	
Jutaí	17	58	69	12			Estrela da Paz	Resex do Rio Jutaí
	36	205	244	41			Rio Biá	
	10	48	57	10			Mawetek	
	33	168	200	33			Rio Biá	
	7	56	67	11				
	25	160	190	32			Vale do Javari	
Lábrea	37	157	187	31	Umari			FN de Balata-Tufari
	53	236	281	47	Paciá		Jacareúba/Katauixi (Restrição Uso)	PN Mapinguari
	58	186	221	37			Jacareúba/Katauixi (Restrição Uso)	PN Mapinguari
	6	21	25	4				EE Serra dos Três Irmãos
	41	158	188	31			Paumari do Lago Marahã	Resex Ituxí

Município	Dom. (2010)	Morad. (2010)	Morad. (2019)	Dom. (2019)	ARA	QLB	TI	UC
	148	631	751	125	Boca do Acre			Resex do Médio Purús
	6	30	36	6			Caititu	
	15	94	112	19			Jarawara/ Jamamadi/Kanamati	
	16	66	79	13			Tumiã	
	12	68	81	13			Seruini/Mariene	
	5	35	42	7			Acimã	
	6	28	33	6			Alto Sepatini	
Manacapuru	18	76	90	15			APA Margem Direita do Rio Negro- Setor Paduari- Solimões	
	120	586	697	116	Cabaliana II			
	24	145	173	29				
Manaquiri	36	153	182	30	Inajá		Fortaleza do Castanho	
	58	317	377	63	Inajá			
	128	729	867	145	Cabaliana II			
Manaus	53	237	282	47			PN de Anavilhanas	
Manicoré	97	556	662	110				RB do Manicoré
	47	471	560	93	Matupi		Tenharim Marmelos	APA dos Campos de Manicoré
	33	164	195	33				PE Do Matupiri
	28	132	157	26			Pinatuba	
	312	1022	1216	203	Matupi			
	19	89	106	18	Fortaleza			Resex do Lago do Capanã Grande
Maués	248	1541	1833	306			Andirá-Marau	
	8	22	26	4				FN de Pau-Rosa
	100	592	704	117	Aliança			FE de maúes
	24	151	180	30				
	6	42	50	8	Abacaxis II			FN de Pau-Rosa
Nhamundá	293	1396	1661	277				APA Nhamundá
	10	62	74	12				FE de Faro
	20	101	120	20			Kaxuyana-Tunayana	
Nova Olinda do Norte	99	640	761	127	Abacaxis II			
	66	417	496	83				FN de Pau-Rosa
Novo Airão	73	462	550	92			Waimiri-Atroari	
	10	73	87	14		Tambor		PE Rio Negro Setor Norte
Novo Aripuaná	131	820	976	163			Setemã	
	95	398	474	79	Acari			PN do Acari
	99	325	387	64				FN do Aripuaná
	96	567	675	112				RDS do Juma
	10	50	59	10	Aripuanã-Guariba			PE Guariba
	8	22	26	4			Tenharim do Igarapé Preto	PN dos Campos Amazônicos
Parintins	420	1981	2357	393				APA Nhamundá
	31	166	198	33			Andirá-Marau	
	357	1753	2086	348				
Pauini	123	910	1083	180			Seruini/Mariene	
	38	270	321	54			Peneri/Tacaquiri	
	61	569	677	113			Peneri/Tacaquiri	FN de Purus
	6	69	82	14				
	17	114	136	23	Terruã			
	16	104	124	21			Inauini/Teuini	FN de Purus
	30	146	174	29				

Município	Dom. (2010)	Morad. (2010)	Morad. (2019)	Dom. (2019)	ARA	QLB	TI	UC	
	22	130	155	26	Terruã			FN Mapiá-Inauini	
	14	99	118	20				Kanamari do Rio Juruá	
Presidente Figueiredo	15	79	94	16			Poyanawa	APA Margem Esquerda do Rio Negro-Setor Aturiá-Apuauzinho	
	104	405	482	80				APA de Presidente Figueiredo - Caverna do Moroaga	
Santa Isabel do Rio Negro	87	575	684	114			Médio Rio Negro II	PN do Pico da Neblina	
	50	940	1118	186			Cué Cué/ Marabitanas	PN do Pico da Neblina	
	344	3685	4384	731			Yanomami	FN do Amazonas	
	73	389	463	77				APA Tapuruquara	
	34	199	237	39				PN do Pico da Neblina	
Santo Antônio do Iça	139	894	1064	177	Rio içá		Porto Limoeiro	EE Juami-Japurá	
	5	27	32	5			Évare I		
	118	761	905	151			Matintin		
	9	66	79	13					
São Gabriel da Cachoeira	1469	7889	9386	1564			Alto Rio Negro	PN do Pico da Neblina	
	36	197	234	39			Médio Rio Negro II		
	27	152	181	30			Balaio		
São Paulo de Olivença	152	982	1168	195			Évare II	RDS Cujubim	
	60	344	409	68			Nova Esperança do Rio Jandiatuba		
	22	128	152	25					
	28	165	196	33					
	6	33	39	7			Lago do São Rafael		Vale do Javari
	10	49	58	10					Tikuna De Feijoal
	269	1733	2062	344					Évare I
São Sebastião do Uatumã	129	993	1181	197	Morena		RDS Uatumã		
Tabatinga	8	28	33	6	Urumutum		Sapotal		
	94	356	424	71			Tukuna Umariçu		
	6	45	54	9			Évare I		
Tapauá	8	41	49	8			Apuriná Igarapé Tauamirim	PN Nascentes do Lago Jari	
	48	328	390	65			Paumari do Lago Paricá		
	10	54	64	11			Paumari do Lago Manissuã	Resex Canutama	
	5	26	31	5			Jarawara/Jamamadi/Kanamati		
	12	71	84	14			Paumari do Cuniua		
	91	556	662	110			Deni		
	8	48	57	10			Apuriná Igarapé Tauamirim		
	5	30	36	6			Itixi Mitari	RDS Piagaçu Purus	
Tonantins	11	73	87	14	Rio Içá		Matintin	EE Juami-Japurá	
	11	47	56	9					
	19	87	104	17					
	19	135	161	27			Barro Alto		
	46	318	378	63			Uati-Paraná		RDS Mamirauá

Município	Dom. (2010)	Morad. (2010)	Morad. (2019)	Dom. (2019)	ARA	QLB	TI	UC
	96	633	753	126			Coata-Laranjal	
Urucurituba	348	1732	2061	343				

Fonte: elaboração própria com base em dados de (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2010); (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2020).

Tabela 17. Comunidades ribeirinhas sem energia elétrica no estado do Rondônia

Município	Dom. (2010)	Morad. (2010)	Morad. (2019)	Dom. (2019)	ARA	TI	UC
Alta Floresta D'Oeste	49	167	190	63		Rio Branco	
Buritis	60	225	258	86	Menezes Filho		
Candeias Do Jamari	14	45	48	16	Jequitibá		
	150	371	429	143	Jequitibá		FN de Jacundá
Costa Marques	107	380	439	146	Macaco Preto		PE Serra dos Reis
Chupinguaia	46	199	228	76		Tubarão Latunde	
Cujubim	66	210	240	80	Agostinho Becker		
	41	129	146	49	Cujubim	Kaxuyana-Tunayana	FERS Periquito
Guajará-Mirim	12	34	35	12	Dom Xavier Rey	Sagarana	PN da Serra da Cutia
Machadinho d'oeste	5	16	14	5	Santa Maria II	Tenharim Marmelos	PN dos Campos Amazônicos
	59	171	195	65	Machadinho		Resex Massaranduba
	114	408	472	157	Cedro Jequitibá		Resex Castanheira
Nova Mamoré	9	35	36	12		Uru-Eu-Wau-Wau	PN de Pacaás Novos
	188	665	772	257		Karipuna	PE de Guajará-Mirim
	7	20	18	6			Resex Jaci-Paraná
Parecis	30	101	113	38	Rio São Pedro		
Pimenta Bueno	36	102	114	38	Caladinho	Parque do Aripuaná	
	7	15	12	4		Parque do Aripuaná	
Porto Velho	42	130	147	49			
	8	12	9	3	Nilson Campos	Karipuna	Resex Jaci-Paraná
	579	1975	2303	768		Karitiana	
	579	1970	2298	766		Karipuna	
Vilhena	42	97	108	36		Parque do Aripuaná	
	8	53	57	19		Uty-Xunaty	

Fonte: elaboração própria com base em dados de (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2010); (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2020).

Tabela 18. Comunidades ribeirinhas sem energia elétrica no estado do Roraima

Município	Dom. (2010)	Morad. (2010)	Morad. (2019)	Dom. (2019)	ARA	TI	UC	
Alto alegre	16	64	86	17		Sucuba		
	18	94	126	25		Boqueirão		
	84	309	415	83	Paredão		FN de Roraima	
	1044	5619	7555	1511		Yanomami	FN de Roraima	
	19	99	133	27				
	26	106	143	29		Anta		
Amajari	5	16	22	4		Cajueiro	EE Maracá	
	42	208	280	56		Aningal		
	31	158	212	42		Santa Inez		
	6	21	28	6		Anaro		
	7	39	52	10		São Marcos - RR		
	484	2511	3376	675		Yanomami		
Boa vista	79	253	340	68		Serra da Moça		
Bonfim	44	263	354	71		Jacamim		
	31	153	206	41		Muriru		
	8	44	59	12		Moskow		
Cantá	36	195	262	52		Malacacheta		
	8	37	50	10		Jacamim		
Caracaráí	26	171	230	46	Bom Suceso	Jacamim	FN de Anauá	
	22	71	95	19				
	62	279	375	75				
	16	91	122	24				
	18	115	155	31		Yanomami		EE Caracaráí
Iracema	192	948	1275	255		Yanomami	FN do Amazonas	
	117	457	614	123				
Mucajaí	80	452	608	122		Yanomami		
Normandia	307	1879	2527	505		Raposa Serra do Sol		
Pacaraima	87	513	690	138		São Marcos - RR		
	50	291	391	78				
	69	425	571	114				Raposa Serra do Sol
	24	157	211	42				Anaro
Rorainópolis	45	192	258	52	Adeirão			
	56	296	398	80		Waimiri-Atroari	APA - Baixo Rio Branco	
	16	163	219	44			APA - Baixo Rio Branco	
	17	90	121	24		Waimiri-Atroari		
São João da Baliza	56	300	403	81	São Luizão	WaiWái		
Uiramutã	268	1548	2081	416		Raposa Serra do Sol	PN do Monte Roraima	
	185	985	1324	265				

Fonte: elaboração própria com base em dados de (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2010); (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2020).

APÊNDICE II

Quadro 7. Diagnóstico da situação ambiental e socioeconômica

Impactos ambientais			Observações	
Fatores Ambientais	Características físicas e químicas	Terra	Leito do rio	Solo arenoso.
			Margem do rio	
		Água	Nível da água	Variação de 9 a 12 metros conforme a estação.
			Qualidade	Águas bem oxigenadas, com concentrações de oxigênio dissolvido acima de 4,3mg. O ₂ /L.
			Materiais em suspensão e contaminantes	A profundidade do rio Negro vai de 3 a 30km. Tem poucos sedimentos e contaminação natural de mercúrio devido aos solos da região onde existem concentrações elevadas deste elemento, mas também existe pelas atividades de mineração de ouro.
		Processos	Fluxo da água	O rio apresenta fluxo de 28.000m ³ /s e baixa carga de sedimentos.
	Sedimentação			
	Condições biológicas	Flora	Árvores	Vegetação baixa tipo caatinga amazônica.
			Vegetação herbácea	
			Plantas aquáticas	Presença de macroalgas em rochas e madeira.
		Fauna	Habitats aquáticos	O rio apresenta acidez elevada e baixa produtividade biológica.
			Aves aquáticas	Se alimentam nas praias e margens dos rios. São na sua maioria de pequeno porte.
			Peixes	Peixes de porte pequeno e baixa piscosidade.
Organismos bentônicos			Baixa produtividade.	
Conservação	Áreas	Áreas de conservação e proteção	Existem unidades de conservação na região.	
Fatores socioeconômicos	Social	Saúde	Serviços precários ou inexistentes.	
		Mobilidade	Por canoa e rabeta.	
		Educação	Serviços precários ou inexistentes.	
	Econômico	Geração de renda	Agricultura, extrativismo, transferências de renda do governo federal, aviamento.	
		Pesca	Pesca artesanal para subsistência e comercialização.	
	Cultural	Atividades de lazer	Atividades de higiene e lúdicas no rio. Atividades culturais exemplo dabucuri. A comunidade funciona como uma unidade sociopolítica autônoma.	
		Meios de comunicação	Uso de rádios e radiofonia.	

Fonte: elaboração própria com base em (FRANZINELLI, 2011); (PINHEIRO; BORGES, 2013); (ZEIDEMANN, 2001); (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, 2012) e visita de campo.

Quadro 8. Fator Físico-químico

Componente	Impacto	Observações
Terra	Erosão da margem do rio	As atividades em terra são para manutenção. Será construído um deck de madeira e a turbina ficará flutuando próxima dessa estrutura já que será ancorada com cabos de aço para que não seja levada pela corrente da água.
Água	Poluição do rio	As turbinas são pintadas com tinta epóxi, construídas com material naval e lacradas para evitar vazamentos.
	Suspensão de sedimentos e contaminantes	O tamanho da turbina é de 1 m e a profundidade do rio é de 3 m em época de seca, pelo qual o movimento não vai ter efeito significativo. A turbina está lacrada por isso não existe liberação de contaminantes.
	Alteração do fluxo da água	O rio possui alta vazão e a velocidade das pás (25 rpm) é baixa. Pelo qual não haverá alteração do processo de sedimentação nem do fluxo da água.
	Alteração do processo de sedimentação	

Quadro 9. Fator Biológico

Componente	Impacto	Observações
Plantas aquáticas	Alterações na vegetação por produtos químicos, óleos e lubrificantes	A turbina é pintada com tinta epoxi e os materiais usados na turbina são de tipo naval. Os óleos e lubrificantes estão contidos em um lacre fechado.
Habitats aquáticos	Alteração de habitats aquáticos	Pode existir incrustação de comunidade bentônica nas estruturas da turbina.
	Alterações de habitats aquáticos por produtos químicos, óleos e lubrificantes	A turbina é pintada com tinta epoxi e os materiais usados na turbina são de tipo naval. Os óleos e lubrificantes estão contidos em um lacre fechado.
Peixes	Perturbação por ruídos	O ruído gerado pela turbina será menor de 50 dB.
	Colisão dos peixes com as pás e o rotor	Pode existir colisão dos peixes com a turbina, mas o risco é baixo. Os peixes evitam o batimento e a velocidade de giro das pás é baixo (25 rpm) pelo qual não existe risco de ferimento e morte. Poucos indivíduos.
	Perturbação por campos eletromagnéticos	O campo eletromagnético gerado é muito baixo.
Organismos bentônicos	Perturbação de organismos bentônicos	A comunidade bentônica tem capacidade de recolonização rápida no substrato.
Conservação	Áreas de reserva	As áreas de conservação estão dentro das terras indígenas.

Quadro 10. Fator Socioeconômico

Componentes	Impacto	Observações
Mobilidade	Alteração da mobilidade	Turbina de pequeno porte e com sinalização para evitar acidentes.
Renda	Geração de renda	O uso da energia pode ser na geração de renda, dando valor a produtos do extrativismo, pesca, agricultura e artesanato, uso de equipamentos para aumentar a produtividade.
Pesca – atividade econômica	Alteração nas atividades pesqueiras	A turbina pode causar alterações na presença de peixes no local de operação porque várias espécies piscosas ficam na margem do rio.
Acesso a meios de comunicação	Alteração no uso de equipamentos	Uso de equipamentos que melhoram o acesso a meios de comunicação: uso de aparelho de som, televisor e celular com internet
Conforto	Conservação de alimentos	Uso de eletrodomésticos para congelar os alimentos e ter uma dieta diversificada.
	Iluminação	A iluminação favorece atividades noturnas e diminuiu riscos de ferimento por animais peçonhentos.
Serviços básicos	Saúde	Conservação de vacinas e medicamentos, uso de equipamentos de uso hospitalar.
	Educação	Uso de equipamentos escolares, conservação de alimentos, educação noturna.
	Distribuição de água	Pode ser usada uma bomba para distribuir água nos lares e diminuir o trabalho das mulheres e crianças carregando água.

Quadro 12. Matriz de impactos fator socioeconômico

ASPECTOS AVALIADOS			Prev.		Instalação			Operação					Descomiss.		
			Determinação do potencial hidrocinético	Análise de batimetria	Construção e deslocamento dos componentes da máquina	Construção do deck de ancoragem	Ancoragem do conjunto turbina	Ruídos	Toxicidade por tintas e outros produtos químicos	Movimento das pás e do rotor	Contaminação por lubrificantes e óleos	Geração de campos eletromagnéticos	Cumulação da energia gerada pela turbina	Retirada da ancoragem	Retirada da turbina
Socioeconômico	Social	Saúde	0	0	0	0	0	1	2	4	1	1	9	0	9
			0	0	0	0	0	-1	-2	-3	1	0	9	0	-8
		Mobilidade	0	0	0	0	6	0	0	6	0	0	6	6	6
	0		0	0	0	-5	0	0	-5	0	0	5	5	5	
	Educação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	-8	
	Econômico	Geração de renda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	
			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0
	Pesca	0	0	0	4	4	3	3	6	3	3	6	3	0	
		0	0	0	-4	-4	-3	-3	-6	-3	-3	7	3	0	
	Cultura	Atividades de lazer e turismo	0	0	0	4	4	0	4	4	4	0	7	4	4
			0	0	0	-4	-4	0	-4	-5	-2	0	7	4	4
Acesso a meios de comunicação		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	
			0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	-8		