

**AVALIAÇÃO DOS LEILÕES DE ENERGIA PARA SISTEMAS ISOLADOS
BRASILEIROS. O CASO DE BOA VISTA (RR)**

Michele Almeida de Souza

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Planejamento Energético, COPPE, da
Universidade Federal do Rio de Janeiro,
como parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Mestre em
Planejamento Energético.

Orientador: Amaro Olimpio Pereira Junior

Rio de Janeiro
Outubro de 2021

**AVALIAÇÃO DOS LEILÕES DE ENERGIA PARA SISTEMAS ISOLADOS
BRASILEIROS. O CASO DE BOA VISTA (RR)**

Michele Almeida de Souza

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.**

Orientador: Amaro Olimpio Pereira Junior

Aprovada por: Prof. Amaro Olimpio Pereira Junior

Prof. Mauricio Tiomno Tolmasquim

Prof. Luciano Dias Losekann

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO DE 2021

Souza, Michele Almeida de

Avaliação dos Leilões de Energia para Sistemas Isolados Brasileiros. O caso de Boa Vista (RR)/ Michele Almeida de Souza. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2021.

XII, 105 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Amaro Olimpio Pereira Junior

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2021.

Referências Bibliográficas: p. 94-105.

1. Sistema Isolado. 2. Boa Vista. 3. Leilão de Energia. 4. Simulação de Otimização. I. Pereira Junior, Amaro Olimpio. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Agradecimentos

À minha família. Em especial à minha mãe, Irene, que mesmo nos momentos mais difíceis sempre me incentivou a continuar e sempre acreditou em mim.

Aos colegas da EPE, responsáveis por longas conversas e pelas trocas de conhecimento que em muito contribuíram para as análises apresentadas nesse trabalho.

Ao meu orientador, Amaro Pereira, por todos os ensinamentos e conselhos.

A todos os professores e funcionários do Programa de Planejamento Energético (PPE) da UFRJ. Em especial para à Sandrinha por estar sempre disposta a ajudar no que fosse preciso.

Aos meus amigos, por tornar essa caminhada mais leve e por compreenderem a minha ausência.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

**AVALIAÇÃO DOS LEILÕES DE ENERGIA PARA SISTEMAS ISOLADOS
BRASILEIROS. O CASO DE BOA VISTA (RR)**

Michele Almeida de Souza

Outubro/2021

Orientador: Amaro Olimpio Pereira Junior

Programa: Planejamento Energético

O trabalho desenvolvido nesta dissertação buscou avaliar os leilões de energia dos Sistemas Isolados brasileiros, para tanto, foi utilizada a localidade de Boa Vista – Roraima como estudo de caso. A primeira parte do trabalho consistiu em identificar os recursos energéticos disponíveis em Boa Vista e os requisitos que o software deve ter para executar as simulações de forma confiável e ágil, dos programas avaliados o HOMER foi o que se mostrou mais completo para as necessidades dos sistemas isolados. Em seguida, foram realizadas simulações a fim de conhecer a configuração do parque gerador capaz de atender a demanda da localidade com menor custo de geração e com menor emissão de CO₂, esse resultado foi então comparado com a contratação realizada via Leilão de 2019, de onde se conclui que o Leilão foi responsável por diversificar a matriz energética de Boa Vista, mas não foi tão eficiente em mitigar os impactos ambientais. Em relação ao custo de geração, o Leilão inicialmente contribuiu para a sua redução, porém, no cenário de alta da inflação, o custo de geração foi elevado, podendo superar, inclusive, o custo da geração se este não tivesse sido realizado, ou seja, com a consideração somente das usinas a óleo diesel e da PCH Alto Jatapu.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

EVALUATION OF ENERGY AUCTIONS FOR BRAZILIAN ISOLATED SYSTEMS. CASE STUDY: BOA VISTA (RR)

Michele Almeida de Souza

October/2021

Advisor: Amaro Olimpio Pereira Junior

Department: Energy Planning

This dissertation aims to evaluate the energy auctions for Brazilian isolated systems, for that, the city of Boa Vista, in Roraima state, was used as a case study. Firstly, this paper examines the resources which can be used in Boa Vista for energy generation, as well as the special requirements that the software must have in order to present reliable results. Among the programs, HOMER was the one with the best results for isolated systems. Second, HOMER and the energy resources available in Boa Vista were used to identify the best configuration of the power plants, in order to reduce the cost of energy and to decrease the greenhouse gas emissions. Finally, the results were compared with the Boa Vista energy auction of 2019, after analysis, the study concluded that the auction achieved the goal to procure energy from different sources, but it did not minimize the emissions. Regarding the energy cost, at the beginning the auction was responsible to reduce the cost of energy, however, in a scenario of high inflation rate, the cost rises and it could even exceed the cost of generation if it had not been carried out.

ÍNDICE ANALÍTICO

LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE ABREVIACÕES.....	XII
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II – SISTEMA ISOLADO DE BOA VISTA – VISÃO GERAL	4
CAPÍTULO III – AVALIAÇÃO DOS RECURSOS ENERGÉTICOS LOCAIS	12
III. 1 – BIOMASSA E BIOCOMBUSTÍVEIS	12
III. 1.1 – <i>Biomassa da Casca de Arroz</i>	14
III. 1.2 – <i>Biomassa e Etanol de Cana-de-Açúcar</i>	17
III. 1.3 – <i>Etanol e Biomassa de Mandioca</i>	18
III. 1.4 – <i>Etanol de Milho</i>	23
III. 1.5 – <i>Biodiesel</i>	26
III. 1.5.1 – <i>Biodiesel de Soja</i>	26
III. 1.5.2 – <i>Biodiesel de Palma</i>	29
III. 1.5.3 – <i>Biodiesel de Origem Animal</i>	30
III. 1.6 – <i>Biomassa de Madeira</i>	33
III. 1.7 – <i>Resíduo Sólido Urbano e Lodo de Esgoto</i>	45
III. 2 – <i>ÉOLICA</i>	47
III. 3 – <i>SOLAR FOTOVOLTAICA</i>	51
III. 4 – <i>HIDRELÉTRICAS</i>	56
III. 5 – <i>RESUMO DOS POTENCIAIS IDENTIFICADOS</i>	58
CAPÍTULO IV – METODOLOGIA	59
IV. 1 – <i>FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO</i>	59
IV. 2 – <i>SELEÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA</i>	62
IV. 2.1 – <i>Carga</i>	63
IV. 2.2 – <i>Recursos Energéticos</i>	64
IV. 2.3 – <i>Informações Técnicas e Econômicas</i>	66
IV. 2.3.1 – <i>Usinas Termelétricas</i>	66
IV. 2.3.2 – <i>Usina Solar Fotovoltaica e Sistema de Armazenamento</i>	68
IV. 2.3.3 – <i>Usina PCH</i>	69
IV. 3 – <i>RESUMO DOS DADOS DE ENTRADA DA SIMULAÇÃO</i>	69
CAPÍTULO V – SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS	70

V. 1 – SIMULAÇÃO DE OTIMIZAÇÃO	70
V. 1.1 – Comparação da Otimização para os anos de 2023 e 2027	71
V. 2 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	72
V. 2.1 – Elevação de 5% no custo da biomassa de madeira	72
V. 2.2 – Elevação de 4% e 10% no preço do biodiesel	72
V. 2.3 – Redução de 20% no preço do biodiesel de palma	73
V. 2.4 – Elevação de 0,5% e 5% no preço do óleo diesel	73
V. 2.5 – Contratação de UTEs novas a óleo diesel.....	74
V. 2.6 – Taxa de desconto de 12%	74
V. 3 – ESCOLHA DA CONFIGURAÇÃO ÓTIMA	75
V. 4 – COMPARAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO ÓTIMA COM A CONFIGURAÇÃO ATUAL	77
V. 5 – COMPARAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO ÓTIMA COM A CONFIGURAÇÃO CONTRATADA NO LEILÃO DE BOA VISTA	78
V. 5.1 – Resultado do Leilão	78
V. 5.2 – Dados de Entrada Utilizados na Simulação	80
V. 5.3 – Resultado da Simulação.....	82
V. 5.4 – Comparação Multi-year – Opção Ótima x Contratação Leilão	84
V. 5.5 – Operação do Sistema Boa Vista.....	85
V. 6 – COMPARAÇÃO GERAÇÃO X INTERLIGAÇÃO.....	87
V. 6.1 – Interligação com a Venezuela.....	87
V. 6.2 – Interligação com o SIN	88
V. 7 – RESUMO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO.....	89
CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistemas Isolados.....	4
Figura 2 - Sistema Elétrico de Boa Vista.	7
Figura 3 - Interligação Tucuruí - Macapá – Manaus.	8
Figura 4 - Traçado previsto para a interligação Manaus - Boa Vista.....	9
Figura 5 - Atividade Pecuária em Roraima – 2018.	30
Figura 6 – Terra Indígena em Roraima	48
Figura 7 – Potencial Eólico Nacional - Dezembro-Fevereiro.	49
Figura 8 - Potencial Eólico - Região Norte.	50
Figura 9 - Locais de instalação das torres do projeto Cruviana.....	50
Figura 10 - Dados de medição anemométrica do Projeto Cruviana.	51
Figura 11 - Irradiação Global Horizontal – Média anual.	53
Figura 12 - Irradiação Global Horizontal em Roraima – Média anual.....	53
Figura 13 - Irradiação Global Horizontal – Média mensal.....	54
Figura 14 - Vegetação Roraima.....	55
Figura 15 – Curva de carga verificada em 2019 e projetada para 2023 e 2027.	63
Figura 16 - GHI em Boa Vista.....	65
Figura 17 – Vazão do rio Jatapu.....	65
Figura 18 - Sistema Elétrico Boa Vista	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade de Remanescente no sistema de distribuição RR	10
Tabela 2 - Resultado Leilão Boa Vista.....	11
Tabela 3 - Arroz com casca - Quantidade Produzida (tonelada).....	14
Tabela 4 - Arroz com casca - Área plantada (hectare)	15
Tabela 5 - Arroz com casca - Rendimento médio da produção (ton/ha).....	15
Tabela 6 - Biomassa Casca de Arroz - Cálculo da Potência da UTE (MW).....	16
Tabela 7 - Cana-de-açúcar - Quantidade Produzida (tonelada).....	17
Tabela 8 - Cana-de-açúcar – Área Plantada (hectare)	18
Tabela 9 - Mandioca - Quantidade Produzida (toneladas)	19
Tabela 10 - Mandioca - Área Plantada (hectare)	19
Tabela 11 - Mandioca – Rendimento Médio da Produção (ton/ha)	20
Tabela 12 - Municípios x Pontos de Conexão.....	21
Tabela 13 - Etanol de Mandioca – Potência Máxima da UTE por Ponto de Conexão ..	21
Tabela 14 - Biomassa de Mandioca – Potência Máxima da UTE por Ponto de Conexão	22
Tabela 15 – Milho – Quantidade Produzida (tonelada).....	23
Tabela 16 - Milho – Área plantada (hectare)	24
Tabela 17 - Milho - Rendimento Médio da Produção (tonelada/hectare)	24
Tabela 18 - Etanol de Milho – Potência Máxima da UTE por Ponto de Conexão.....	25
Tabela 19 - Etanol de Mandioca e de Milho em Roraima.....	25
Tabela 20 - Soja – Área plantada (hectare)	27
Tabela 21 - Soja – Quantidade Produzida (tonelada)	27
Tabela 22 - Soja - Rendimento Médio da Produção (tonelada/hectare).....	27
Tabela 23 - Biodiesel de Soja – Potência da UTE por Ponto de Conexão	28
Tabela 24 - Biodiesel da Palma – Potência da UTE por Ponto de Conexão	29

Tabela 25 - Biodiesel Animal adicionado ao de Soja – Potência da UTE por Ponto de Conexão	33
Tabela 26 - Produtos da indústria madeireira produzidos em RR	34
Tabela 27 - Volume de produtos de madeira produzidos por município	34
Tabela 28 - Estabelecimentos em RR que produzem produtos de madeira e móveis	38
Tabela 29 - Volume de produto de madeira processado em Roraima.....	38
Tabela 30 - Coeficiente de rendimento do processamento da tora	41
Tabela 31 - Produção estimada de Resíduo de Madeira e total de Tora em Boa Vista..	42
Tabela 32 - Influência da umidade no poder calorífico.....	44
Tabela 33 - Resíduo de Serraria - Cálculo da Potência da UTE (MW).....	44
Tabela 34 - Floresta Energética - Cálculo da Potência da UTE (MW)	45
Tabela 35 - Aproveitamentos da bacia do Rio Branco	57
Tabela 36 - Resumo da capacidade das usinas por fonte e por ponto de conexão	58
Tabela 37 - Dados de Entrada - HOMER	69
Tabela 38 - Configurações por ordem de menor COE	70
Tabela 39 - Resultado da simulação com taxa de desconto de 12%	74
Tabela 40 - Resultado Leilão de Boa Vista de 2019	79
Tabela 41 - Dados de entrada das usinas contratadas no Leilão de Boa Vista.....	81
Tabela 42 - Resultado Simulação usinas contratadas Leilão de 2019	82
Tabela 43 - Dados de entrada das usinas contratadas no Leilão de Boa Vista - atualizados	84
Tabela 44 - Principais resultados da Simulação de Otimização	89
Tabela 45 - Principais resultados da análise de sensibilidade	89
Tabela 46 - Análise do custo da Contratação realizada via Leilão para período de 5 anos	90
Tabela 47 – Custos Interligação	90

LISTA DE ABREVIAÇÕES

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- ANP - Agência Nacional do Petróleo
- CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas
- DOF - Documento de Origem Florestal
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética
- GHI - Irradiação Global Horizontal
- HOMER - Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
- MMA – Ministério de Meio Ambiente
- MME – Ministério de Minas e Energia
- O&M - Operação e Manutenção
- OVA - Ouro Verde Agrosilvopastoril
- PCH – Pequena Central Hidrelétrica
- PCI - Poder Calorífico Inferir
- PCS - Poder Calorífico Superior
- PIE – Produtor Independente de Energia
- RAIS - Relação Anual de Informações Sociais
- RSU - Resíduo Sólido Urbano
- SI – Sistema Isolado
- SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL
- SIN – Sistema Interligado Nacional
- UFV – Usina Fotovoltaica
- UHE – Usina Hidrelétrica
- UTE - Usina Termelétrica

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

A energia elétrica é fundamental a sociedade por possibilitar diversos serviços como a iluminação, passando pelo acionamento de dispositivos e maquinários até a recente conexão de pessoas via internet. Com o crescimento da demanda, ao longo dos anos foram construídas grandes usinas, nem sempre próximas aos centros consumidores, o que demandou a instalação de uma vasta rede de transmissão para levar a energia elétrica gerada nessas usinas aos consumidores.

Porém, por questões técnicas ou econômicas, nem todas as regiões são conectadas via sistemas de transmissão, essas áreas são conhecidas como off-grid ou sistemas isolados. Por não estarem eletricamente conectados ao restante do território, toda a energia necessária para suprimento aos sistemas isolados deve ser gerada na própria localidade.

No geral, os sistemas isolados são formados por: (i) ilhas, como Samso na Dinamarca, Tilos na Grécia e Havaí, estado americano localizado no pacífico; (ii) pequenas comunidades rurais, como algumas localizadas na África do Sul e em Camarões (SINHA e CHANDEL, 2014); e (iii) cidades de difícil acesso como acontece com os territórios no norte do Canadá, onde a temperatura extrema é responsável por manter os habitantes dessa região isolados (EISLER, 2016).

No Brasil, assim como em outras partes do mundo, os sistemas isolados estão localizados em áreas de difícil acesso e/ou sem viabilidade econômica para sua interligação, como a ilha de Fernando de Noronha, comunidades rurais no interior do Mato Grosso e de Rondônia e comunidades localizadas em região de floresta na Amazônia – território indígena e/ou de preservação ambiental.

Tradicionalmente, o suprimento aos sistemas isolados é feito por usinas termelétricas que utilizam combustíveis fósseis, isso se deve à sua capacidade de garantir segurança no suprimento, possibilidade de realizar modulação de carga e facilidade de operação.

No entanto, a preocupação com as mudanças climáticas fez com que vários países buscassem maneiras de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Essa preocupação incentivou o investimento em tecnologias limpas para a geração de energia elétrica, com destaque para a energia eólica e a solar fotovoltaica, o que fez com que o custo dessas tecnologias fosse reduzido, tornando-as mais acessíveis para a sua utilização nos sistemas isolados.

Essas fontes, contudo, são intermitentes e demandam sistema elétrico flexível o suficiente para amortecer a variação da geração sem que haja interrupção de carga. Nesse sentido, muitos estudos vêm sendo desenvolvidos para introduzir geração renovável nos sistemas isolados possibilitando o atendimento à carga por meio de um sistema híbrido de geração de energia. SINHA e CHANDEL (2014) mostram alguns desses estudos em vários locais, como nas ilhas de Fiji, na Índia, na Arábia Saudita, na China e no Canadá.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar os leilões de geração dos sistemas isolados brasileiros, no tocante à diversificação da matriz energética, à redução dos custos de geração e à redução das emissões. Para tanto, será utilizado o Leilão de Boa Vista – Roraima, como estudo de caso.

O trabalho ainda tem por objetivo avaliar as ferramentas de simulação para a otimização da geração híbrida que são utilizadas em diversos estudos com sistemas isolados pelo mundo e identificar a que é mais adequada para ser utilizada em simulações para os sistemas isolados brasileiros.

Nesse ínterim, a primeira etapa do trabalho será responsável por identificar os recursos energéticos disponíveis na região de Boa Vista e estimar a capacidade das usinas que podem ser instaladas a partir de cada um desses recursos, na sequência será avaliada qual ferramenta de simulação é a mais adequada para atender as necessidades dos sistemas isolados brasileiros e será executada simulação a fim de identificar a configuração ótima para esta localidade.

A segunda etapa consiste em comparar os resultados da simulação com a contratação realizada via Leilão de Boa Vista de 2019 em relação à utilização dos recursos energéticos locais, à redução dos custos de geração e à redução dos impactos ambientais - conforme estabelece o Decreto n.º 7.246/2010.

Por fim, serão avaliados os custos de geração local isolada em relação aos custos de interligação de Boa Vista, com a Venezuela e com o SIN, busca-se com isso avaliar se mesmo com a utilização de recursos energéticos locais para a geração de energia as interligações ainda se justificam.

Para alcançar os objetivos estabelecidos, este trabalho está estruturado em seis sessões. Além deste capítulo introdutório, que se propõe a apresentar os objetivos do estudo, esta dissertação possui mais cinco capítulos. O capítulo 2 apresenta visão geral do sistema isolado de Boa Vista, o histórico do seu suprimento energético e os motivos que levaram Boa Vista a ser a única capital do país a permanecer isolada.

O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para identificar os recursos energéticos disponíveis em Boa Vista para a geração de energia, bem como a capacidade máxima das usinas que podem vir a ser instaladas com cada um desses recursos. O capítulo 4, por sua vez, discutirá os softwares de simulação disponíveis para a realizar análise de otimização com configurações híbridas em sistemas isolados e será identificado o software mais promissor para os estudos nos sistemas isolados brasileiros.

No capítulo 5 serão apresentados os resultados da simulação e estes serão comparados com o resultado obtido por meio da contratação via leilão, além disso, serão avaliados e discutidos os benefícios da interligação de Boa Vista, tanto ao SIN, quanto com a Venezuela, em comparação com a manutenção da geração isolada. Neste sentido, também são discutidas algumas recomendações para o desenho dos leilões nos sistemas isolados a fim de contribuir para a redução dos custos de geração e para a redução das emissões.

Por fim, o capítulo 6 destaca as principais conclusões retiradas dos capítulos anteriores e apresenta as indicações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO II – SISTEMA ISOLADO DE BOA VISTA – VISÃO GERAL

Ao longo de sua história, o sistema elétrico brasileiro acompanhou a construção de grandes usinas no interior do país e de um vasto sistema de transmissão para interligar essas usinas aos consumidores, a demanda interligada por esse sistema, bem como sua infraestrutura, é chamada de Sistema Interligado Nacional (SIN).

No entanto, cerca de 0,7% da carga do país (ONS, 2020) não está conectada ao SIN, esse é o chamado sistema isolado (SI). O Decreto n.º 7.246/2010 define o SI como o sistema elétrico que, em sua configuração normal, não esteja conectado ao SIN por razões técnicas ou econômicas.

O SI é composto por 256 localidades espalhadas pela região norte, por uma localidade no interior do Mato Grosso e pela Ilha de Fernando de Noronha, totalizando 258 localidades (EPE, 2021), Figura 1.

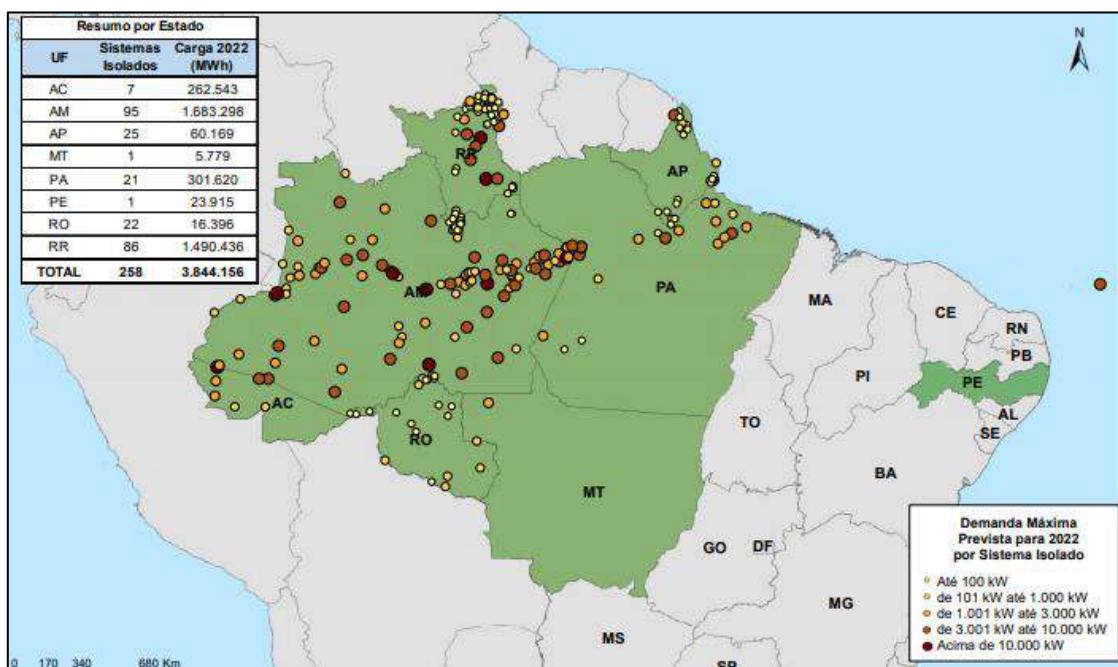


Figura 1 - Sistemas Isolados.

Fonte EPE, 2021

O SI é responsável pelo atendimento a aproximadamente 3 milhões de pessoas, com demanda de energia estimada em 439MWmed para 2022, sendo mais de 90% dessa geração realizada a partir de usinas termelétricas a óleo diesel (EPE, 2021).

Por não haver conexão entre as localidades isoladas, ou entre essas e o SIN, cada localidade deve possuir sua própria usina e essa usina deve ser dimensionada de modo a atender toda a demanda e garantir segurança no suprimento. Pela Figura 1 é possível observar que o SI é formado tanto por pequenas comunidades, com demanda inferior a 100 kW, quanto por grandes cidades com demanda superior a 10.000 kW, uma dessas localidades é Boa Vista, capital de Roraima.

A logística de transporte do combustível para os sistemas isolados é complexa, sendo necessário cruzar longas distâncias em estradas em mau estado de conservação ou por rios nem sempre navegáveis. As dificuldades no abastecimento implicam na necessidade de armazenar combustível em quantidade suficiente para garantir a continuidade da geração entre dois abastecimentos consecutivos, o que em algumas localidades pode superar 3 meses.

Essas questões somadas à ausência de economia de escala são refletidas no preço do combustível e resultam em custo de geração que podem superar R\$ 2.000/MWh¹, como acontece com algumas localidades no interior do Acre, enquanto o custo médio de geração no SIN, para o ambiente de contratação regulada – ACRmed, é de R\$ 253,50/MWh².

A fim de compensar essa diferença, a Lei n.º 12.111/2009 estabelece que a Conta de Consumo de Combustíveis (CCC) reembolse o montante igual à diferença entre o custo total de geração de energia elétrica nos sistemas isolados e a valoração dessa mesma quantidade de energia no ACRmed.

A CCC é um encargo do setor elétrico pago por todos os consumidores e utilizado para subsidiar os custos de geração nos sistemas isolados. Para 2021, a Câmara de

¹ Leilão do Acre n.º 10/2015. Disponível em:
https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/Leilao_10-2015_Resultado.pdf.
Acesso em: 07 de agosto de 2021.

² Despacho ANEEL n.º 2.867/2020. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/dsp20202867.pdf>.
Acesso em: 07 de agosto de 2021.

Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) estima que será necessário desembolsar R\$ 8,5 bilhões³ a fim de arcar com os custos de geração nos sistemas isolados, sendo Roraima responsável por cerca de 15% desse valor.

O Decreto n.º 7.246/2010 indica que a prestação de serviços de energia elétrica nos sistemas isolados deve buscar a eficiência econômica e energética, a mitigação dos impactos ao meio ambiente e a utilização dos recursos energéticos locais, visando atingir a sustentabilidade econômica na geração de energia elétrica. Para tanto, faz-se necessário reduzir a dependência dos sistemas isolados por óleo diesel para a geração de energia elétrica.

Boa Vista é a única capital brasileira que pertence ao SI, para suprir sua demanda, em 2001 ela foi conectada ao sistema elétrico venezuelano pela Linha de Transmissão 230 kV Santa Elena – Boa Vista, com contrato de suprimento por 20 anos (DOMINGUES, 2003 e EPE e ONS, 2017).

Esta conexão originalmente possuía capacidade de 200 MW com energia proveniente das hidrelétricas do rio Caroni, dentre elas a UHE Guri (DOMINGUES, 2003) e se tornou a principal forma de suprimento à Boa Vista, sendo essa geração complementada por usinas termelétricas a diesel instaladas na capital roraimense.

Como a energia fornecida pela Venezuela era proveniente de hidrelétricas essa possuía custo inferior ao da geração diesel local, contribuindo, dessa forma, para a redução dos dispêndios da CCC.

Além da capital, a conexão com a Venezuela era responsável pelo suprimento energético a outras localidades interconectadas a Boa Vista, via sistema de distribuição Figura 2.

³ CCEE - Info Contas Setoriais -048 – Jun/2021. Disponível em:
https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/infomercado?aba=aba_info_contas_setoriais&_afrLoop=536576455409870&_adf.ctrl-state=1aioozxm9p_30#!%40%40%3Faba%3Daba_info_contas_setoriais%26_afrLoop%3D536576455409870%26_adf.ctrl-state%3D1aioozxm9p_34. Acesso em 31 de julho de 2021.

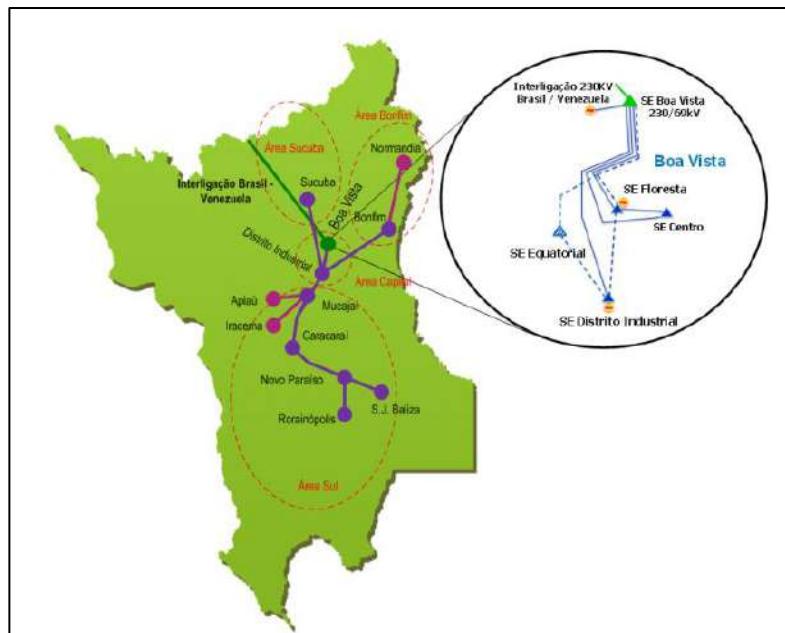


Figura 2 - Sistema Elétrico de Boa Vista.

Fonte EPE e ONS, 2019.

Com o passar dos anos alguns sistemas isolados vão sendo incorporados ao SIN. A expansão do sistema de transmissão ocorre, dentre outros fatores, quando o custo de geração local supera o custo de construção do sistema de transmissão, isso explica porque as capitais da região norte foram as últimas a serem interligadas.

A interligação de Boa Vista ao SIN foi planejada para ocorrer a partir de Manaus, como extensão do linhão Tucuruí – Macapá - Manaus, Figura 3, um projeto com mais de 1.800km (DOILE e NASCIMENTO, 2010), cuja obra foi objeto do Leilão de Transmissão nº 004/2008 e a energização total ocorreu em 2015 (ONS, 2016).

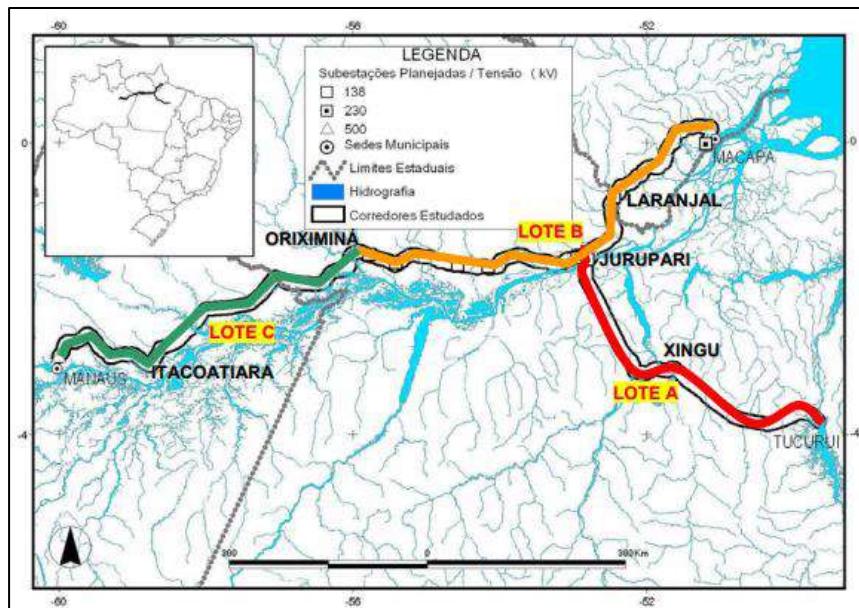


Figura 3 - Interligação Tucuruí - Macapá – Manaus.

Fonte: Anexo 6^a - Edital ANEEL Leilão de Transmissão n° 004/2008

A Figura 4 mostra o traçado previsto para a interligação Manaus-Boa Vista a partir da subestação Lechuga, a aproximadamente 19 km de Manaus. Com a conclusão dessa obra todas as capitais brasileiras seriam interligadas ao SIN.

Todavia, como pode ser observado na Figura 4, a interligação de Boa Vista a Manaus previa a travessia do território indígena Waimiri Atroari, essa condição se transformou num empecilho para a obtenção da licença de instalação, resultando, em 2016, na suspensão da licença prévia. Até o momento não existe expectativa para a resolução desse problema.

Sem a interligação ao SIN, a conexão com a Venezuela se consagrou como a principal forma de suprimento à região metropolitana de Roraima.

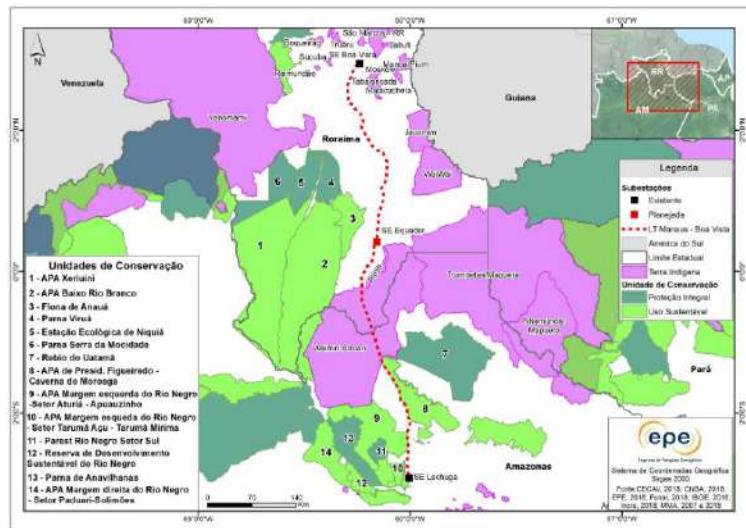


Figura 4 - Traçado previsto para a interligação Manaus - Boa Vista⁴

Nos últimos anos a Venezuela vem enfrentando uma grave crise, o que foi responsável por afetar a manutenção da LT Santa Elena – Boa Vista, sem a manutenção adequada os desligamentos dessa interligação passaram a ser frequentes. Por questões técnicas, o desligamento dessa LT também implicava na atuação do sistema de proteção das unidades geradoras em Boa Vista, ou seja, o desligamento da interligação resultava em blecautes em Boa Vista e nas demais localidades a ela conectadas.

Os problemas no fornecimento da energia pela Venezuela somados à indefinição da interligação de Boa Vista ao SIN fizeram com que o MME estudasse outras alternativas para garantir suprimento confiável de energia para a capital de Roraima.

Assim, de forma emergencial, foi deliberado pelo CMSE, em outubro de 2018, que a distribuidora buscasse junto aos agentes termelétricos já contratados a garantia de disponibilizar 245 MW para atendimento a Boa Vista até que o sistema fosse interligado ao SIN ou até a entrada em operação de outras soluções de suprimento, Portaria MME nº 468/2018.

O fornecimento de energia pela Venezuela foi totalmente suspenso em março de 2019, conforme consta na ATA da 216^a reunião do CMSE, a partir de então o suprimento de energia passou a ser realizado integralmente pelas usinas instaladas no sistema Boa

⁴ Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/roraima-planejamento-energetico#PARTE02>. Acesso em 26 de julho de 2020.

Vista. Se por um lado essa condição eliminou os constantes blecautes que ocorriam em Roraima, por outro elevou o custo de geração e as emissões de CO₂.

Como solução, foi realizado pela ANEEL o Leilão de Geração n° 001/2019 para suprimento a Boa Vista e demais localidades a ela conectadas, cujas soluções de suprimento contratadas têm concessão de geração por até 15 anos e entrada em operação comercial prevista para 2022.

Além de Boa Vista, as localidades indicadas na Figura 2 também participaram do leilão disponibilizando suas subestações para conexão das soluções de suprimento, a capacidade máxima de cada ponto de conexão e de cada área foi limitada pela capacidade de escoamento do sistema de distribuição, Tabela 1.

Tabela 1 - Capacidade de Remanescente no sistema de distribuição RR

Ponto de Conexão	Tensão	Capacidade Remanescente (MW)		
		Barramento	Subárea	Área
Bonfim	69	≤ 45		
	34,5	≤ 10	≤ 45	≤ 45
	13,8	≤ 13		Área
Normandia	34,5	0	0	Bonfim
	13,8	0		
Sucuba	69	≤ 47		≤ 47
	34,5	0	≤ 47	Área
	13,8	≤ 14		Sucuba
Mucajáí	69	≤ 30		
	34,5	≤ 13	≤ 30	
	13,8	≤ 11		
Apiaú	34,5	≤ 12		
	13,8	≤ 5	≤ 12	
Iracema	34,5	≤ 13		
	13,8	≤ 3	≤ 13	
Caracaraí	69	≤ 40		≤ 52
	13,8	≤ 22	≤ 40	Área
Novo Paraíso	69	≤ 38		
	13,8	≤ 10	≤ 38	
São João da Baliza	69	≤ 24		
	13,8	≤ 21	≤ 24	
Rorainópolis	69	≤ 25		
	34,5	≤ 13	≤ 25	
	13,8	≤ 12		
Boa Vista	230	≤ 240		
	69	≤ 270	≤ 270	
	13,8	0		
Centro	69	0	0	≤ 270
	13,8	0		Área
Floresta	69	0		Capital
	13,8	≤ 40	≤ 40	
Distrito Industrial	69	≤ 115		
	13,8	≤ 40	≤ 115	

Fonte: EPE e ONS (2017)

Como resultado do Leilão de Boa Vista, foram contratadas nove soluções de suprimento, Tabela 2, sendo a mais significativa uma usina a gás natural, com disponibilidade de potência de 117 MW. Destaca-se que somente uma solução diesel se sagrou vencedora, com 38 MW, as demais usinas são termelétricas a biomassa e biocombustível.

Tabela 2 - Resultado Leilão Boa Vista

Solução de Suprimento	Barramento	Fonte	Valor do Investimento	Disponibilidade de Potência (MW)	Preço de Referência (R\$/MWh)
Monte Cristo Sucuba	Sucuba-69	Óleo Diesel	126.983.750	38	1.059,17
Jaguatirica II	Boa vista-230	Gás Natural	425.410.800	117	798,17
BBF Baliza	São João da Baliza-69	Biocombustível + Biomassa	97.416.022	13	670,00
Híbrido Forte de São Joaquim	Boa Vista-69	Biocombustível	537.759.883	51	825,00
Palmaplan Energia 2	Rorainópolis-34,5	Biocombustível	70.355.713	11	820,67
Bonfim	Bonfim-69	Cavaco/Resíduo de Madeira	98.600.000	8	800,00
Cantá	Bonfim-69	Cavaco/Resíduo de Madeira	113.500.000	8	800,00
Pau Rainha	Boa Vista-69	Cavaco/Resíduo de Madeira	76.500.000	8	754,00
Santa Luz	Boa Vista-69	Cavaco/Resíduo de Madeira	76.500.000	8	754,00
1.623.026.168				263	

Fonte: Elaboração própria a partir de CCEE⁵

O Leilão conseguiu diversificar a matriz energética de Boa Vista. Cabe, contudo, avaliar se o mesmo estimulou a contratação de usinas que utilizam os recursos energéticos locais e se esses conduziram ao resultado esperado: eficiência econômica e mitigação dos impactos ambientais, conforme prevê o Decreto nº 7.246/2010.

⁵ Disponível em:

https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes? afrLoop=204093433983119&adf.ctrl-state=100n5pk5mi_67. Acesso em: 08 de agosto de 2021.

CAPÍTULO III – AVALIAÇÃO DOS RECURSOS ENERGÉTICOS LOCAIS

A avaliação dos recursos energéticos disponíveis em uma determinada região indica a vocação energética desse local, onde uma geografia privilegiada pode favorecer a geração de energia a partir de recursos renováveis.

O Brasil é um país rico em recursos energéticos, 82% da capacidade instalada do SIN é composta por usinas que utilizam recursos renováveis (MME e EPE, 2020).

Contudo, essa não é a realidade dos sistemas isolados, onde impera a geração a partir do óleo diesel. Atualmente, o suprimento a Boa Vista e demais localidades a ela conectadas ocorre majoritariamente a partir de usinas termelétricas a óleo diesel, sendo a única exceção a PCH Alto Jatapu, com capacidade instalada de 10MW.

Dessa forma, esse capítulo se dedicará a investigar a vocação energética de Roraima, focando em Boa Vista e nos municípios que possuem conexão elétrica com a capital, Figura 2 e Tabela 1. Além disso, será estimada a capacidade máxima das usinas que podem ser instaladas para gerar energia elétrica a partir dos recursos identificados.

Destaca-se que a análise realizada nesse capítulo pode servir como modelo para a identificação do potencial energético em outros Sistemas Isolados.

III. 1 – BIOMASSA E BIOCOMBUSTÍVEIS

Para fins de aproveitamento energético, biomassa pode ser descrito como todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, de origem vegetal ou animal, apropriado para ser utilizado na produção de energia elétrica (ANEEL, 2005).

A geração de energia a partir da biomassa pode ocorrer de diversas formas: pela queima direta em fornos e caldeiras; pela transformação biológica de açúcares em etanol para fins energéticos; ou ainda por meio da digestão anaeróbia para geração de biogás (VEIGA, 2012).

A capacidade instalada de usinas a biomassa no SIN, em maio de 2019, era de 13.335MW, correspondendo a 8% da capacidade do sistema (MME e EPE, 2020).

Assim como acontece no SIN, a biomassa também pode ser uma fonte estratégica para a geração de energia nos Sistema Isolados, representando uma maneira de alcançar eficiência econômica e energética, bem como de mitigar impactos ao meio ambiente, conforme determina o Decreto nº 7.246/2010.

Boa Vista, assim como a maioria dos sistemas isolados, se localiza na região norte do país, próximo à floresta Amazônica. Falar da utilização da biomassa para geração de energia próximo a florestas é uma questão sensível, uma vez que traz consigo a preocupação do desmatamento, o que pode implicar desde a perda da biodiversidade até a redução dos territórios das populações indígenas (MMA, 2013). A fim de evitar essa questão, o estudo irá considerar somente os produtos agrícolas que já são produzidos em Roraima, sem considerar a possibilidade de expansão da área atualmente plantada.

Fatores como características do solo, índice pluviométrico, declividade e quantidade incidente de luz solar influenciam diretamente na produção agrícola. O que torna necessária a análise detalhada das lavouras existentes em cada localidade e a observação da quantidade de biomassa produzida.

O Censo Agropecuário IBGE (2017) indica que os principais produtos agrícolas produzidos no país são a soja, a cana-de-açúcar e o milho. Para Roraima, além desses também são destaques o arroz com casca e a mandioca.

Da cana-de-açúcar, do milho e da mandioca pode ser produzido o etanol; da soja pode ser obtido o biodiesel; e a queima da casca de arroz em caldeiras pode produzir vapor, que por sua vez pode ser utilizado para o acionamento de turbinas termelétricas.

O biodiesel produzido a partir de óleos saturados, como da palma e da gordura animal, apresentam melhor inflamabilidade em motores diesel, ao passo que o biocombustível fabricado a partir de óleos insaturados, tais como o de soja, de girassol e de canola, tendem a ter pior qualidade de combustão (HIRAHURI *et al.*, 2010).

Assim, além da atividade agrícola, também deve ser avaliada a atividade pecuária existente na região, uma vez que o biodiesel proveniente de gordura animal também pode ser utilizado para a geração de energia elétrica.

Adicionalmente, deve ser avaliada a existência de cultivo de espécies não nativas introduzidas na região para fins comerciais. Em Roraima, foram identificadas duas

grandes plantações, uma de palma de dendê e outra de *Acacia mangium* das quais podem ser obtidos biodiesel e cavaco de madeira, respectivamente.

Por fim, será estudada a forma com que Boa Vista lida com o descarte do lixo e com o tratamento de esgoto. A geração de energia a partir dessas fontes pode ser útil para resolver questões de saúde pública.

Na sequência é apresentada a avaliação do potencial energético de cada uma das fontes acima citadas.

III. 1.1 – Biomassa da Casca de Arroz

O arroz irrigado é um dos produtos mais importantes do setor agrícola de Roraima (CORDEIRO *et al.*, 2010), tendo a safra de 2018 produzido 72.664 toneladas (IBGE, 2018a). Das lavouras de arroz resultam como resíduo a casca, que apresenta um elevado poder calorífico e pode ser utilizada para a geração de eletricidade.

Se não for utilizado para a geração de energia, a casca de arroz tem como destino a queima, que quando não controlada despeja cinzas no ambiente, cuja inalação pode provocar doenças respiratórias (MARCONCICI *et al.*, 2007).

Assim, a geração de energia a partir da casca de arroz, além ajudar a resolver a questão energética do estado, também poderá resolver uma questão de saúde pública.

A Tabela 3 apresenta a evolução da quantidade de arroz produzido em Roraima no período 2009-2018. Nela é possível observar que o município de Bonfim foi responsável por 54% da produção em 2018, sendo seguido por Normandia com 31%.

Tabela 3 - Arroz com casca - Quantidade Produzida (tonelada)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Alto Alegre	353	353	382	279	294	294	390	1.490	1.875	1.950
Amajari	5.731	5.731	12.835	16.119	12.000	520	2.865	7.715	7.875	3.330
Boa Vista	5.729	5.729	7.102	7.776	7.000	12.089	2.170	2.170	1.500	2.170
Bonfim	26.752	26.752	40.468	44.584	45.000	45.000	31.934	40.180	38.400	39.000
Cantá	7.744	7.744	7.744	7.082	7.082	7.082	5.929	3.780	2.250	3.600
Caracaraí	729	729	1.079	780	96	500	-	-	58	-
Caroebe	758	758	787	569	24	24	50	41	30	36
Iracema	1.028	1.028	1.044	767	24	24	24	24	25	13
Mucajáí	9.629	9.629	10.097	2.740	3.080	2	35	35	33	55

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Normandia	18.551	18.551	18.911	23.639	12.833	12.833	9.373	11.900	17.910	22.400
Pacaraima	6.832	6.832	5.009	1.176	1.375	-	-	-	-	-
Rorainópolis	865	865	880	683	75	75	38	38	124	80
São João da Baliza	347	347	394	260	96	96	120	63	18	30
São Luiz	222	222	266	157	13	13	45	90	12	-
Uiramutã	55	55	77	70	77	60	30	30	50	-
Roraima	85.325	85.325	107.075	106.681	89.069	78.612	53.003	67.556	70.160	72.664

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2018a).

Levando em consideração que Bonfim e Normandia são municípios próximos, localizados no norte do estado, e que juntos respondem por 85% da produção de arroz em Roraima, a análise irá se concentrar nessas duas localidades. A Tabela 4 apresenta a evolução da área plantada de arroz para esses municípios.

A partir da área plantada e da quantidade produzida foi calculado o rendimento dessas lavouras, Tabela 5, onde pode ser visto que em média são produzidas 7 toneladas de arroz por hectare plantado nesses municípios.

Tabela 4 - Arroz com casca - Área plantada (hectare)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Bonfim	3.900	3.900	5.900	6.500	6.500	6.500	4.562	5.740	5.200	5.200
Normandia	2.300	2.300	2.800	3.500	1.900	1.900	1.339	1.700	2.710	3.000

Fonte: Elaboração própria com base em IBGE, 2018a

Tabela 5 - Arroz com casca - Rendimento médio da produção (ton/ha)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Média
Bonfim	6,86	6,86	6,86	6,86	6,92	6,92	7,00	7,00	7,38	7,50	7,02
Normandia	8,07	8,07	6,75	6,75	6,75	6,75	7,00	7,00	6,61	7,47	7,12

Afim de estimar a produção de arroz nesses municípios para os próximos anos, será considerado que a área plantada se manterá constante a partir de 2018, ou seja, 5.200 hectares em Bonfim e 3.000 hectares em Normandia e que o rendimento será a média observada para os últimos 10 anos de produção. Como resultado, obtém-se produção total de 57.854 toneladas/ano para esses municípios.

Segundo MAYER *et al.* (2006), o percentual do peso da casca de arroz corresponde a 22% da massa do grão, ou seja, da produção de arroz em Bonfim e Normandia o peso da casca corresponde a 12.728 toneladas/ano. Admitindo que 15% desse valor será perdido no manuseio do resíduo ao longo de todo o processo, restarão 10.819 toneladas para serem usados para a geração de energia.

Ainda segundo MAYER *et al.* (2006), a casca de arroz possui poder calorífico inferior (PCI) médio de 3.200 kcal/kg.

Segundo TOLMASQUIM (2016), a geração de energia a partir de resíduos de biomassa ocorre quando a queima do combustível é utilizada para obter calor e esse, por sua vez, é utilizado para aquecer um fluido de trabalho a fim de gerar vapor de alta pressão e temperatura. A energia armazenada no vapor é convertida em energia mecânica na turbina acoplada ao gerador, produzindo, assim, energia elétrica.

Considerando: (i) que a casca de arroz será estocada durante o período de safra a fim de garantir geração de energia elétrica constante ao longo do ano; (ii) que a usina termelétrica possui eficiência térmica de 35% no ciclo Rankine; e (iii) que o rendimento do conjunto turbina-gerador é de 85% - resultando em eficiência total de 30% - obtemos a potência máxima de uma usina termelétrica que pode ser instalada considerando a casca de arroz como insumo.

Da Tabela 6 observa-se que a partir da casca de arroz pode-se instalar uma UTE com capacidade máxima de 1,4 MW.

Tabela 6 - Biomassa Casca de Arroz - Cálculo da Potência da UTE (MW)

Ponto de Conexão	Município	Quantidade Arroz (ton/ano)	Quantidade Casca (ton/ano)	Casca considerando perdas 15% (ton)	Capacidade Processamento da UTE (kg/h)	Energia Casca Arroz kWmed	Potência da UTE – Eficiência 30% (MW)
Bonfim	Bonfim	36.487	8.027	10.819	1.235	4.596	1,4
	Normandia	21.367	4.701				

Considerando que municípios de Bonfim e Normandia juntos apresentam área superior a 15.000 km², o equivalente a 1/3 da área do estado do Rio de Janeiro, a logística para recolher a casca nos diferentes locais de produção, bem como a baixa potência da UTE tornam a implantação dessa usina pouco factível.

Por isso, a geração de energia elétrica a partir da queima da casca de arroz não será considerada no estudo, porém esse insumo pode ser utilizado por cooperativas para autogeração, reduzindo seu custo de produção.

III. 1.2 – Biomassa e Etanol de Cana-de-Açúcar

As usinas termelétricas que geram energia a partir da biomassa de cana-de-açúcar têm papel de destaque no SIN, com 405 usinas instaladas e 11.542 MW (ANEEL, 2020).

Contudo, a agricultura da cana-de-açúcar em Roraima é a segunda menor do país. A lavoura de cana no estado atingiu a sua produção máxima em 2013, com 4.460 toneladas, entrando em declínio a partir de então. A safra de 2018 produziu apenas 1.221 toneladas, com destaque para o município de Rorainópolis, com 390 toneladas (IBGE, 2018a).

Pelas Tabela 7 e Tabela 8 é possível verificar uma grande variação na quantidade produzida e na área plantada ao longo dos anos, tal variação eleva a incerteza sobre a capacidade futura de produção de cana-de-açúcar no estado.

Além disso, considerar que a área plantada pode se recuperar e retornar ao observado, por exemplo, em 2012, quando a área plantada chegou a ocupar 566 hectares, não é aconselhável, já que poderia ser visto como um estímulo ao desmatamento, principalmente após a revogação do Decreto nº 6.961, de 17 de setembro de 2009, que excluía o bioma Amazônia do zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar - pelo Decreto nº 10.084, de 5 de novembro de 2019.

Dessa forma, a biomassa e os biocombustíveis provenientes da cana-de-açúcar não serão considerados como recursos viáveis para a geração de energia elétrica em Roraima.

Tabela 7 - Cana-de-açúcar - Quantidade Produzida (tonelada)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Alto Alegre	233	240	244	230	230	230	54	25	25	40
Amajari	15	18	18	18	31	60	60	60	60	60
Boa Vista	264	272	276	272	410	380	380	380	380	220
Bonfim	28	30	30	30	-	-	-	-	-	-
Cantá	40	48	48	48	30	30	15	36	33	270
Caracaráí	63	70	70	70	2	2	-	-	-	2

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Caroebe	70	70	70	70	70	70	50	25	27	40
Iracema	70	70	70	70	9	9	9	9	9	9
Mucajáí	234	247	250	247	306	40	20	20	20	20
Normandia	15	17	17	17	17	-	-	-	-	-
Pacaraima	44	44	44	44	51	7	7	7	7	-
Rorainópolis	178	200	109	49	1.500	1.000	1.500	840	798	390
São João da Baliza	32	34	42	39	1.200	600	1.200	1.200	1.200	90
São Luiz	88	93	93	93	600	300	600	336	336	-
Uiramutã	2	2	2	3	4	80	80	70	80	80
Roraima	1.376	1.455	1.383	1.300	4.460	2.808	3.975	3.008	2.975	1.221

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2018a).

Tabela 8 - Cana-de-açúcar – Área Plantada (hectare)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Alto Alegre	75	75	75	75	75	75	15	7	7	8
Amajari	10	10	10	10	10	20	10	10	10	10
Boa Vista	95	97	98	98	100	90	90	90	85	40
Bonfim	15	16	16	16	-	-	-	-	-	-
Cantá	15	16	16	16	10	10	5	12	11	18
Caracaraí	40	40	40	40	1	1	-	-	-	1
Caroebe	40	40	40	40	30	30	20	10	11	10
Iracema	40	40	40	40	3	3	3	3	3	3
Mucajáí	90	90	90	90	90	10	5	5	5	5
Normandia	10	10	10	10	10	-	-	-	-	-
Pacaraima	15	15	15	15	15	2	2	2	2	-
Rorainópolis	53	53	53	55	100	100	100	70	67	35
São João da Baliza	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
São Luiz	40	40	40	40	10	10	10	7	7	-
Uiramutã	1	1	1	1	1	10	10	10	10	10
Roraima	559	563	564	566	475	381	290	246	238	160

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2018a).

III. 1.3 – Etanol e Biomassa de Mandioca

A cultura da mandioca é uma das principais da região Norte, com destaque para o estado do Pará, que figura dentre os maiores produtores nacionais (IBGE, 2017).

No Brasil a plantação de mandioca, em sua maioria, é realizada por pequenos agricultores, sendo tradicionalmente voltada para a alimentação (VALLE *et al.*, 2009). Estima-se que mais de 600 produtos podem ser obtidos da mandioca pela indústria do amido (SALLA, 2008).

A mandioca tem grande potencial para a produção de etanol graças às suas características biológicas (VALLE *et al.*, 2009), os resíduos gerados após a extração da fécula de mandioca podem ser empregados na produção de etanol de segunda geração (MARTINEZ *et al.*, 2017). Além disso, os resíduos da colheita podem ser utilizados como biomassa para a geração de energia (VEIGA, 2012).

A Tabela 9 apresenta a quantidade de mandioca produzida em Roraima para o período de 2009 a 2018, nela é possível perceber que há cultivo deste vegetal em todo o estado, fazendo deste um promissor recurso energético.

Tabela 9 - Mandioca - Quantidade Produzida (toneladas)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Alto Alegre	11.072	11.099	11.107	11.070	14.013	14.013	14.400	9.600	5.239	7.200
Amajari	1.380	1.385	1.385	1.380	3.696	1.600	4.800	4.560	1.111	2.760
Boa Vista	1.449	1.488	1.489	1.449	4.309	4.500	4.500	4.500	2.970	3.500
Bonfim	1.810	1.798	1.798	1.810	4.824	4.824	20.125	4.800	6.055	5.500
Cantá	10.966	11.088	11.088	10.966	28.000	28.000	6.828	5.535	5.258	12.000
Caracaraí	4.360	4.420	4.433	4.360	4.551	4.551	4.884	2.583	2.454	2.860
Caroebe	8.250	8.290	8.290	8.250	25.200	12.600	25.200	20.800	19.760	4.500
Iracema	8.340	7.756	7.756	8.340	3.600	3.600	3.057	2.400	2.520	3.500
Mucajáf	8.130	8.156	8.165	8.130	8.844	7.650	5.200	8.000	3.001	3.850
Normandia	2.825	2.873	2.873	2.825	691	691	600	1.238	1.625	3.360
Pacaraima	1.760	1.828	1.839	1.760	3.794	5.621	6.160	12.320	6.160	7.700
Rorainópolis	12.620	12.687	12.690	12.620	25.200	25.200	21.000	8.000	5.670	7.200
São João da Baliza	1.430	1.430	1.435	1.430	8.000	4.000	6.000	3.000	230	1.080
São Luiz	1.400	1.421	1.430	1.400	4.000	3.000	4.000	3.400	184	1.000
Uiramutã	1.400	1.400	1.412	1.400	1.620	10.000	50.000	60.750	60.750	9.100
Roraima	77.192	77.119	77.190	77.190	140.342	129.850	176.754	151.486	122.987	75.110

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2018a).

Analizando a área plantada para o mesmo período, Tabela 10, nota-se que a agricultura de mandioca passou por um momento de euforia entre os anos de 2013 e 2014, seguido de redução na área plantada tendo se estabilizado nos últimos anos.

Tabela 10 - Mandioca - Área Plantada (hectare)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Alto Alegre	852	855	881	852	1.193	1.193	1.200	800	460	600
Amajari	118	118	118	278	278	100	300	380	114	270
Boa Vista	130	135	174	200	278	300	300	300	270	250
Bonfim	170	168	220	300	800	800	805	400	656	540
Cantá	860	870	870	860	1.400	1.400	569	545	518	750

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Caracaraí	370	375	450	370	370	370	407	287	273	260
Caroebe	630	634	634	630	630	630	630	536	509	450
Iracema	660	655	655	660	300	300	200	200	210	300
Mucajáí	660	663	700	660	660	850	400	400	333	350
Normandia	250	255	310	360	96	120	100	223	56	280
Pacaraima	150	155	180	270	270	400	440	880	440	550
Rorainópolis	950	955	1.040	950	1.200	1.200	1.000	400	420	600
São João da Baliza	130	130	170	130	400	400	300	300	12	90
São Luiz	140	143	198	140	200	200	200	200	11	80
Uiramutã	140	140	200	140	150	500	1.000	1.350	1.350	700
Roraima	6.210	6.251	6.800	6.800	8.225	8.763	7.851	7.201	5.632	6.070

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2018a).

A Tabela 11 apresenta o rendimento do período 2009 a 2018, com produção média de 15,7 toneladas por hectare, com destaque para o município de Caroebe com 24 ton/ha.

Tabela 11 - Mandioca – Rendimento Médio da Produção (ton/ha)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Média
Alto Alegre	13,0	13,0	12,6	13,0	11,7	11,7	12,0	12,0	11,4	12,0	12,2
Amajari	11,7	11,7	11,7	5,0	13,3	16,0	16,0	12,0	9,7	10,2	11,7
Boa Vista	11,1	11,0	8,6	7,2	15,5	15,0	15,0	15,0	11,0	14,0	12,3
Bonfim	10,6	10,7	8,2	6,0	6,0	6,0	25,0	12,0	9,2	10,2	10,4
Cantá	12,8	12,7	12,7	12,8	20,0	20,0	12,0	10,2	10,2	16,0	13,9
Caracaraí	11,8	11,8	9,9	11,8	12,3	12,3	12,0	9,0	9,0	11,0	11,1
Caroebe	13,1	13,1	13,1	13,1	40,0	20,0	40,0	38,8	38,8	10,0	24,0
Iracema	12,6	11,8	11,8	12,6	12,0	12,0	15,3	12,0	12,0	11,7	12,4
Mucajáí	12,3	12,3	11,7	12,3	13,4	9,0	13,0	20,0	9,0	11,0	12,4
Normandia	11,3	11,3	9,3	7,8	7,2	5,8	6,0	5,6	29,0	12,0	10,5
Pacaraima	11,7	11,8	10,2	6,5	14,1	14,1	14,0	14,0	14,0	14,0	12,4
Rorainópolis	13,3	13,3	12,2	13,3	21,0	21,0	21,0	20,0	13,5	12,0	16,1
São João da Baliza	11,0	11,0	8,4	11,0	20,0	10,0	20,0	10,0	19,2	12,0	13,3
São Luiz	10,0	9,9	7,2	10,0	20,0	15,0	20,0	17,0	16,7	12,5	13,8
Uiramutã	10,0	10,0	7,1	10,0	10,8	20,0	50,0	45,0	45,0	13,0	22,1
Roraima	12,4	12,3	11,4	11,4	17,1	14,8	22,5	21,0	21,8	12,4	15,7

Como nem todos os municípios possuem pontos de conexão, é necessário verificar quais localidades poderão ter a plantação de mandioca voltada para a geração de energia, a Tabela 12 apresenta os resultados.

Tabela 12 - Municípios x Pontos de Conexão

Município	Ponto de Conexão
Alto Alegre	Conexão em Sucuba
Boa Vista	Conexão em Boa Vista
Bonfim	Conexão em Bonfim
Caracaraí	Conexão em Caracaraí
Caroebe	Conexão em São João da Baliza
Iracema	Conexão em Caracaraí
Mucajáí	Conexão em Mucajáí
Normandia	Conexão em Bonfim
Rorainópolis	Conexão em Rorainópolis
São João da Baliza	Conexão em São João da Baliza
São Luiz	Conexão em São João da Baliza
Amajari	Não tem ponto de conexão
Cantá	Não tem capacidade de escoamento
Pacaraima	Não tem ponto de conexão
Uiramutã	Não tem ponto de conexão

Fonte: Elaboração própria a partir de EPE e ONS (2017).

Começando a análise pela produção de etanol, SALLA (2008) estima que 1 tonelada de raiz é capaz de produzir 210,6 litros de etanol anidro. Considerando que parte da produção da safra será armazenada para garantir geração constante de energia elétrica ao longo do ano, calcula-se a potência máxima da usina que pode ser instalada utilizando o etanol de mandioca como combustível.

A Tabela 13 apresenta o resultado por ponto de conexão, considerando que a usina terá eficiência de 50%, ciclo Otto.

Tabela 13 - Etanol de Mandioca – Potência Máxima da UTE por Ponto de Conexão

Ponto de Conexão	Município	Área Plantada (ha)	Rendimento Médio (ton/ha)	Quantidade Produzida (ton)	Etanol (l/ano)	Capacidade Processamento (l/hora)	Energia etanol de mandioca (kWmed)	Potência Usina (MW)
Sucuba	Alto Alegre	600	12,25	7.347	1.547.379	177	1.147	0,6
Boa Vista	Boa Vista	250	12,35	3.087	650.074	74	482	0,2
Bonfim	Bonfim	540	10,40	5.618	1.183.081	135		1.337
	Normandia	280	10,52	2.946	620.386	71		0,7
Caracaraí	Caracaraí	260	11,08	2.881	606.666	69		1.030
	Iracema	300	12,39	3.717	782.843	89		0,5
	Caroebe	450	24,00	10.799	2.274.187	260		
São João da Baliza	São João da Baliza	90	13,26	1.193	251.345	29	2.045	1,0
	São Luiz	80	13,84	1.107	233.154	27		
Mucajáí	Mucajáí	350	12,40	4.341	914.110	104	678	0,3
Rorainópolis	Rorainópolis	600	16,06	9.633	2.028.775	232	1.504	0,8

Apesar da elevada capacidade de produção de etanol a partir da mandioca em Roraima, 11,092 milhões de litros, a usina de maior capacidade que poderia ser instalada utilizando esse combustível é uma UTE de 1 MW em São João da Baliza.

Embora o resultado não seja satisfatório do ponto de vista elétrico, ele revela o potencial energético da mandioca uma vez que o etanol pode ser utilizado como combustível veicular.

Na sequência será avaliada a utilização dos resíduos da mandioca como biomassa para a geração de energia. VEIGA (2012) informa que cada tonelada de raiz, após o processamento, gera 451 kg de resíduo, com PCI de 10,6 MJ/kg.

Considerando usina com eficiência de geração térmica de 30%, ciclo Rankine, obtemos a potência máxima das usinas que podem ser instaladas em Roraima utilizando o bagaço da mandioca, Tabela 14.

Tabela 14 - Biomassa de Mandioca – Potência Máxima da UTE por Ponto de Conexão

Ponto de Conexão	Município	Área Planta da (ha)	Rendimento Médio (ton/ha)	Quantidade Produzida (ton)	Resíduo (ton/ano)	Capacidade Processamento (kg/hora)	Energia bagaço mandioca (kWmed)	UTE Eficiência 30% (MW)
Sucuba	Alto Alegre	600	12,25	7.347	3.314	378	1.114	0,3
Boa Vista	Boa Vista	250	12,35	3.087	1.392	159	468	0,1
Bonfim	Bonfim	540	10,40	5.618	2.534	289	1.298	0,4
	Normandia	280	10,52	2.946	1.329	152		
Caracaraí	Caracaraí	260	11,08	2.881	1.299	148	1.000	0,3
	Iracema	300	12,39	3.717	1.676	191		
São João da Baliza	Caroebe	450	24,00	10.799	4.870	556	1.986	0,6
	São João da Baliza	90	13,26	1.193	538	61		
	São Luiz	80	13,84	1.107	499	57		
Mucajaí	Mucajaí	350	12,40	4.341	1.958	223	658	0,2
Rorainópolis	Rorainópolis	600	16,06	9.633	4.345	496	1.460	0,4

Observa-se que a máxima potência que pode ser alcançada é de 600 kW em São João da Baliza. Dessa forma, a biomassa de mandioca também não será considerada como um recurso energético viável para esse estudo.

Cabe destacar, contudo, que apesar da capacidade de geração ser pequena para uma cidade do porte de Boa Vista, esse recurso pode ser utilizado para substituir o óleo diesel no atendimento a comunidades indígenas.

III. 1.4 – Etanol de Milho

Além da mandioca, o milho também está presente em Roraima, sendo um dos produtos mais plantados no estado.

Segundo ABIMILHO (2019), cerca de 15% da produção nacional é destinada à alimentação humana e o restante destinado ou para a alimentação animal ou para a indústria.

LEWANDROWSKI *et al.* (2019) mostram a importância do etanol de milho como biocombustível para a redução da emissão de gases de efeito estufa nos Estados Unidos, indicando que em 2015 foram produzidos 56,78 bilhões de litros de etanol a partir do milho naquele país. Reforçando, assim, a importância de avaliar a viabilidade de geração de energia a partir deste recurso. Desta forma, será analisada a quantidade de etanol que pode vir a ser produzida em Roraima a partir do milho e se esta quantidade é suficiente para abastecer uma usina termelétrica.

A Tabela 15 apresenta a quantidade de milho produzida em Roraima para o período de 2009 a 2018, onde nota-se crescimento significativo entre os anos de 2016 e 2018, com destaque para os municípios de Amajari, Boa Vista, Cantá, Mucajaí e Normandia, todos com crescimento superior a 800% no período.

Tabela 15 – Milho – Quantidade Produzida (tonelada)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Alto Alegre	2.507	2.507	1.671	2.507	2.629	2.626	1.500	3.375	8.640	5.100
Amajari	732	732	870	648	735	320	300	216	227	2.300
Boa Vista	1.615	1.615	1.138	1.615	1.740	2.550	425	425	6.480	5.200
Bonfim	807	807	907	686	4.500	2.500	6.000	7.200	19.440	19.850
Cantá	1.557	1.557	1.518	1.557	240	240	240	240	869	2.160
Caracaraí	724	724	724	640	234	234	281	216	2.337	744
Caroebe	284	284	284	241	560	560	-	-	41	-
Iracema	556	556	556	493	1.200	1.200	1.200	1.200	591	2.600
Mucajaí	1.371	1.371	1.371	1.060	1.320	1.470	400	400	420	4.500
Normandia	190	190	190	161	15	-	7	10	204	204
Pacaraima	244	244	244	207	250	750	375	375	53	-
Rorainópolis	917	917	917	840	1.200	1.200	3.000	1.596	1.575	1.500
São João da Baliza	403	403	403	376	500	500	500	500	56	400
São Luiz	661	661	661	595	75	-	100	100	18	90
Uiramutã	232	232	346	174	240	1.200	1.200	1.160	423	-
Roraima	12.800	12.800	11.800	11.800	15.438	15.350	15.528	17.013	41.374	44.648

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2018a).

Analizando a área plantada, Tabela 16, e relacionando-a com a quantidade produzida, Tabela 15, obtém-se o rendimento em Roraima, Tabela 17, com valor médio de 3,0 toneladas/hectare.

Tabela 16 - Milho – Área plantada (hectare)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Alto Alegre	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	600	900	1.200	1.050
Amajari	350	350	350	350	350	80	120	120	126	450
Boa Vista	600	600	600	600	600	600	100	100	900	950
Bonfim	400	400	400	400	1.100	1.125	1.500	1.800	2.700	4.050
Cantá	600	600	600	600	120	120	120	120	147	570
Caracaraí	500	500	500	500	156	156	187	120	410	155
Caroebe	200	200	200	200	400	400	-	-	14	-
Iracema	350	350	350	350	600	600	600	500	100	500
Mucajá	600	600	600	600	600	700	200	200	210	900
Normandia	100	100	100	100	5	-	4	10	43	40
Pacaraima	100	100	100	100	100	300	150	150	21	-
Rorainópolis	600	600	600	600	600	600	1.200	640	630	380
São João da Baliza	300	300	300	300	100	100	100	100	11	80
São Luiz	500	500	500	500	30	-	40	40	7	30
Uiramutã	200	200	200	200	200	300	300	330	106	-
Roraima	6.500	6.500	6.500	6.500	6.061	6.181	5.221	5.130	6.625	9.155

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2018a).

Tabela 17 - Milho - Rendimento Médio da Produção (tonelada/hectare)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Média
Alto Alegre	2,3	2,3	1,5	2,3	2,4	2,4	2,5	3,8	7,2	4,9	3,1
Amajari	2,1	2,1	2,5	1,9	2,1	4,0	2,5	1,8	1,8	5,1	2,6
Boa Vista	2,7	2,7	1,9	2,7	2,9	4,3	4,3	4,3	7,2	5,5	3,8
Bonfim	2,0	2,0	2,3	1,7	4,1	2,2	4,0	4,0	7,2	4,9	3,4
Cantá	2,6	2,6	2,5	2,6	2,0	2,0	2,0	2,0	5,9	3,8	2,8
Caracaraí	1,4	1,4	1,4	1,3	1,5	1,5	1,5	1,8	5,7	4,8	2,2
Caroebe	1,4	1,4	1,4	1,2	1,4	1,4	-	-	2,9	-	1,6
Iracema	1,6	1,6	1,6	1,4	2,0	2,0	2,0	2,4	5,9	5,2	2,6
Mucajá	2,3	2,3	2,3	1,8	2,2	2,1	2,0	2,0	2,0	5,0	2,4
Normandia	1,9	1,9	1,9	1,6	3,0	-	1,8	1,0	4,7	5,1	2,5
Pacaraima	2,4	2,4	2,4	2,1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	-	2,4
Rorainópolis	1,5	1,5	1,5	1,4	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,9	2,1
São João da Baliza	1,3	1,3	1,3	1,3	5,0	5,0	5,0	5,0	5,1	5,0	3,5
São Luiz	1,3	1,3	1,3	1,2	2,5	-	2,5	2,5	2,6	3,0	2,0
Uiramutã	1,2	1,2	1,7	0,9	1,2	4,0	4,0	3,5	4,0	-	2,4
Roraima	2,0	2,0	1,8	1,8	2,6	2,5	3,0	3,2	6,2	4,9	3,0

Segundo SALLA (2008), a partir de uma tonelada de grãos de milho é possível produzir 330 litros de etanol, com PCI de 23,375 MJ/litro. Utilizando essas informações para calcular a potência das usinas termelétricas, ciclo Otto, obtém-se a Tabela 18.

Tabela 18 - Etanol de Milho – Potência Máxima da UTE por Ponto de Conexão

Ponto de Conexão	Município	Área Planta da (ha)	Rendimento Médio (ton/ha)	Quantidade Produzida (ton)	Etanol (litro/ano)	Capacidade Processamento (l/hora)	Energia Etanol milho (kWmed)	UTE Eficiência 50% (MW)
Sucuba	Alto Alegre	1.050	3,14	3.301	1.089.423	124	807	0,4
Boa Vista	Boa Vista	950	3,83	3.638	1.200.559	137	890	0,4
Bonfim	Bonfim	4.050	3,44	13.945	4.601.819	525		
	Normandia	40	2,54	102	33.593	4	3.436	1,7
Caracaraí	Caracaraí	155	2,24	348	114.712	13		
	Iracema	500	2,57	1.284	423.791	48	399	0,2
	Caroebe	-	1,60	-	-	-		
São João da Baliza	São João da Baliza	80	3,54	283	93.388	11	84	0,0
	São Luiz	30	2,03	61	20.050	2		
Mucajaí	Mucajaí	900	2,39	2.153	710.474	81	527	0,3
Rorainópolis	Rorainópolis	380	2,14	814	268.684	31	199	0,1

Pela tabela acima observa-se que alguns municípios, como Bonfim, têm capacidade para produzir grande quantidade de etanol a partir do milho, 4,6 milhões de litros/ano, todavia, essa produção não é suficiente para justificar a instalação de uma UTE que utilize o etanol como insumo.

A Tabela 19 apresenta a capacidade total de produção de etanol de mandioca e de milho para os 11 municípios de Roraima analisados nesse estudo. Por ela podemos concluir que a capacidade de produção anual de etanol é superior a 19,6 milhões de litros/ano e que mesmo combinando o etanol de mandioca com o de milho, a capacidade instalada de uma UTE seria de no máximo 2,4 MW.

Tabela 19 - Etanol de Mandioca e de Milho em Roraima

Ponto de Conexão	Município	Etanol de mandioca (l/ano)	Etanol de milho (l/ano)	Total de Etanol (l/ano)	Potência UTE Etanol Milho + Mandioca MW
Sucuba	Alto Alegre	1.547.379	1.089.423	2.636.802	1,0
Boa Vista	Boa Vista	650.074	1.200.559	1.850.633	0,7
Bonfim	Bonfim	1.183.081	4.601.819	5.784.900	
	Normandia	620.386	33.593	653.979	2,4
Caracaraí	Caracaraí	606.666	114.712	721.378	
	Iracema	782.843	423.791	1.206.634	0,7
	Caroebe	2.274.187	-	2.274.187	
São João da Baliza	São João da Baliza	251.345	93.388	344.733	1,1
	São Luiz	233.154	20.050	253.204	
Mucajaí	Mucajaí	914.110	710.474	1.624.584	0,6
Rorainópolis	Rorainópolis	2.028.775	268.684	2.297.459	0,9
TOTAL		11.092.000	8.556.493	19.648.493	

Por outro lado, o etanol produzido em Roraima, pode representar uma oportunidade para empreendedores locais, podendo ser utilizado para a geração de energia em pequenas comunidades ou para outros fins, por exemplo, combustível veicular, o que pode ser importante para a geração de empregos na região.

III. 1.5 – Biodiesel

O biodiesel é um combustível renovável produzido para ser utilizado como substituto ao óleo diesel. O biodiesel pode ser obtido a partir da gordura animal ou de óleos vegetais, sendo extraído de espécies como girassol, amendoim, palma, soja, babaçu, mamona e pinhão-manso (ANP, 2016).

A utilização direta do óleo vegetal em motores de ignição não é recomendada uma vez que estes podem: apresentar combustão incompleta, formar de depósitos de carbono nos sistemas de injeção e comprometer a durabilidade do motor, isso ocorre devido suas propriedades físico-químicas, principalmente pela sua elevada viscosidade e alto grau de polimerização (FERRARI *et al.*, 2005, ZUNIGA *et al.*, 2011).

A transformação do óleo vegetal em biodiesel por meio da transesterificação é a alternativa mais simples para corrigir os problemas acima relatados. A transesterificação é um processo no qual o triglicerídeo reage com um álcool formando o biodiesel e, como subproduto, a glicerina (OLIVEIRA e SILVA, 2013).

Segundo COSTA NETO e ROSSI (2000), o biodiesel pode ser utilizado tanto puro (B100), quanto misturado ao diesel com bom rendimento e sem danificar o motor.

Para a produção de biodiesel de origem vegetal em Roraima duas espécies se destacam: a soja e a palma, a área plantada dessas duas culturas superou 40 mil hectares em 2018, o que pode possibilitar a geração de energia a partir do biodiesel no estado.

III. 1.5.1 – Biodiesel de Soja

O principal produto derivado da soja é o farelo proteico utilizado para a nutrição animal, que representa de 75% a 80% do grão. O óleo, do qual se produz o biodiesel, é o produto de menor importância (HIRAHURI *et al.*, 2010).

No cenário nacional, a soja é a principal matéria-prima utilizada na produção do biodiesel, em 2019 representou 67% da produção (LODI, 2020).

O percentual da mistura obrigatória de biodiesel aos combustíveis fósseis cresceu de 2% para 11% entre 2008 e 2019 (ANP, 2016), isso contribuiu para estabelecer mercado interno para o biodiesel.

A Tabela 20 apresenta a área plantada de soja em Roraima, nela é possível observar que a plantação se concentra em seis municípios, com destaque para Alto Alegre e Bonfim. Em 2018, a produção total foi de 105.780 toneladas, Tabela 21, com rendimento médio de 2,6 toneladas/hectare, Tabela 22.

Tabela 20 - Soja – Área plantada (hectare)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Alto Alegre	1.000	1.000	1.700	2.100	7.500	5.002	9.520	9.845	5.625	14.500
Amajari	-	-	-	-	-	-	150	-	-	-
Boa Vista	200	200	650	1.100	1.100	5.632	8.305	5.500	5.530	8.400
Bonfim	200	200	800	1.300	5.800	4.866	4.630	7.200	5.675	10.000
Cantá	-	-	450	500	500	500	670	820	1.265	670
Iracema	-	-	-	-	-	-	95	135	330	2.200
Mucajáí	-	-	-	-	-	-	450	535	300	1.900
Roraima	1.400	1.400	3.600	5.000	14.900	16.000	23.820	24.035	18.725	37.670

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2018a).

Tabela 21 - Soja – Quantidade Produzida (tonelada)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Alto Alegre	2.800	2.800	4.760	5.880	21.000	10.504	23.800	27.566	11.186	40.600
Amajari	-	-	-	-	-	-	369	-	-	-
Boa Vista	560	560	1.820	3.080	3.300	11.827	17.441	15.400	16.030	24.360
Bonfim	560	560	2.240	3.640	14.500	10.219	11.390	20.160	13.749	27.000
Cantá	-	-	1.260	1.400	1.400	1.400	1.648	2.296	2.631	2.010
Iracema	-	-	-	-	-	-	202	378	941	6.300
Mucajáí	-	-	-	-	-	-	945	1.547	540	5.510
Roraima	3.920	3.920	10.080	14.000	40.200	33.950	55.795	67.347	45.077	105.780

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2018a).

Tabela 22 - Soja - Rendimento Médio da Produção (tonelada/hectare)

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Média
Alto Alegre	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,10	2,50	2,80	1,99	2,80	2,62
Amajari	-	-	-	-	-	-	2,46	-	-	-	2,46
Boa Vista	2,80	2,80	2,80	2,80	3,00	2,10	2,10	2,80	2,90	2,90	2,70
Bonfim	2,80	2,80	2,80	2,80	2,50	2,10	2,46	2,80	2,42	2,70	2,62
Cantá	-	-	2,80	2,80	2,80	2,80	2,46	2,80	2,08	3,00	2,69

Município	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Média
Iracema	-	-	-	-	-	-	2,13	2,80	2,85	2,86	2,66
Mucajáí	-	-	-	-	-	-	2,10	2,89	1,80	2,90	2,42
Roraima	2,80	2,80	2,80	2,80	2,70	2,12	2,34	2,80	2,41	2,81	2,64

Segundo FELITI *et al.* (2006), a partir de uma tonelada de grãos de soja é possível produzir 180 kg de óleo vegetal, além disso, será considerado que a produção de biodiesel ocorre na proporção de 1:1, ou seja, 1 kg de óleo de soja produz 1 kg de biodiesel.

Segundo OLIVEIRA e SILVA (2013), o poder calorífico do biodiesel varia de 39 a 41 MJ/kg (de 9.300 a 9.800 kcal/kg), já EPE (2020b) considera PCI de 9.000 kcal/kg para o biodiesel B100, sendo este o valor que será adotado neste estudo.

A Tabela 23 apresenta a potência máxima pode ser considerada por usina que utilize o biodiesel B100 para a geração de energia elétrica em motores ciclo diesel, usinas desse tipo apresentam eficiência maior do que a observada para termelétricas com ciclo Rankine, podendo a sua eficiência de geração alcançar valores entre 35% e 50%, na análise foi considerado eficiência de 50%.

Tabela 23 - Biodiesel de Soja – Potência da UTE por Ponto de Conexão

Ponto de Conexão	Município	Área Planta da (ha)	Rendimento Médio (ton/ha)	Quantidade Produzida (ton/ano)	Biodiesel (kg/ano)	Capacidade Processamento (kg/hora)	Energia no Biodiesel (kWmed)	UTE Eficiência 50% (MW)
Sucuba	Alto Alegre	14.500	2,62	37.973	6.835.220	780	8.167	4,1
Boa Vista	Boa Vista	8.400	2,70	22.679	4.082.212	466	4.878	2,4
Bonfim	Bonfim	10.000	2,62	26.183	4.712.914	538	5.631	2,8
	Normandia	-	-	-	-	-		
Caracaraí	Caracaraí	-	-	-	-	-	1.259	0,6
	Iracema	2.200	2,66	5.853	1.053.505	120		
Mucajáí	Mucajáí	1.900	2,42	4.604	828.631	95	990	0,5

Pela tabela acima conclui-se que combinando a soja de Alto Alegre, Boa Vista e Bonfim, municípios vizinhos, é possível produzir biodiesel suficiente para alimentar uma UTE de 9 MW.

III. 1.5.2 – Biodiesel de Palma

Outra espécie amplamente cultivada em Roraima é a palma. O óleo de palma pode ser utilizado para a indústria alimentícia, de higiene, química e de biocombustíveis (VILLELA, 2014).

Segundo ANTONINI (2015), a palma é uma planta originária do continente africano, cujo óleo, no Brasil conhecido por dendê, se destaca pelo baixo custo de produção. O cultivo da palma é uma cultura perene, com produção contínua ao longo do ano e com vida útil superior a 25 anos (ALVES *et al.*, 2015).

Em Roraima, a região sul do estado apresenta maior potencial para a exploração da Palma, apresentando condições climáticas mais adequadas à sua adaptação (ALVES *et al.*, 2015, RAMALHO FILHO *et al.*, 2008). No estado, a palma pode ser encontrada em Rorainópolis, em fazenda de propriedade da Palmaplan, empresa fundada em 2008 e dedicada ao cultivo da palma, com 2,5 mil hectares plantados.

ALVES (2015) indica que cada hectare plantado de palma é capaz de produzir de 4 a 6 toneladas de óleo por ano. ANTONINI (2015) analisando o cultivo de palma na região do cerrado brasileiro, próximo a Brasília, obteve uma variação de 3,8 a 4,8 toneladas de óleo por hectare/ano.

Dessa forma, parece ser razoável considerar para a região sul de Roraima uma produtividade de 4 toneladas de óleo por hectare por ano. O que combinado com a área plantada pela Palmaplan resulta em uma produção de 10 mil toneladas de biodiesel por ano.

Tabela 24 - Biodiesel da Palma – Potência da UTE por Ponto de Conexão

Ponto de Conexão	Município	Área Planta da (ha)	Rendimento Médio (ton/ha)	Biodiesel (kg/ano)	Capacidade Processamento (kg/hora)	Energia contida no Biodiesel (kWmed)	UTE Eficiência 50% (MW)
Rorainópolis	Rorainópolis	2.500	4,00	10.000	1.142	11.949	6,0

Com isso, observa-se ser possível considerar uma UTE de 6 MW gerando energia a partir do biodiesel B100 de palma, em Rorainópolis.

Importante salientar que ao ser considerada a utilização do óleo vegetal de palma para a produção de biodiesel, deixa-se de produzir o dendê.

III. 1.5.3 – Biodiesel de Origem Animal

A utilização da gordura animal para a produção de biodiesel pode contribuir para a redução do impacto ambiental da indústria pecuarista, evitando o descarte inadequado dos resíduos, agregando valor à gordura e, consequentemente, colaborando para a valorização da atividade pecuária (BARROS e JARDINE, 2005).

No Brasil o sebo bovino tem destaque na produção de biodiesel, sendo a segunda matéria-prima mais utilizada para esse fim, respondendo por 13% da produção, ficando atrás apenas da soja (COLLARES, 2019).

Além da pecuária bovina, outras podem ter o resíduo destinado para a produção de biodiesel, como a suína e a de galináceos. A Figura 5 apresenta as atividades pecuárias existentes em Roraima.

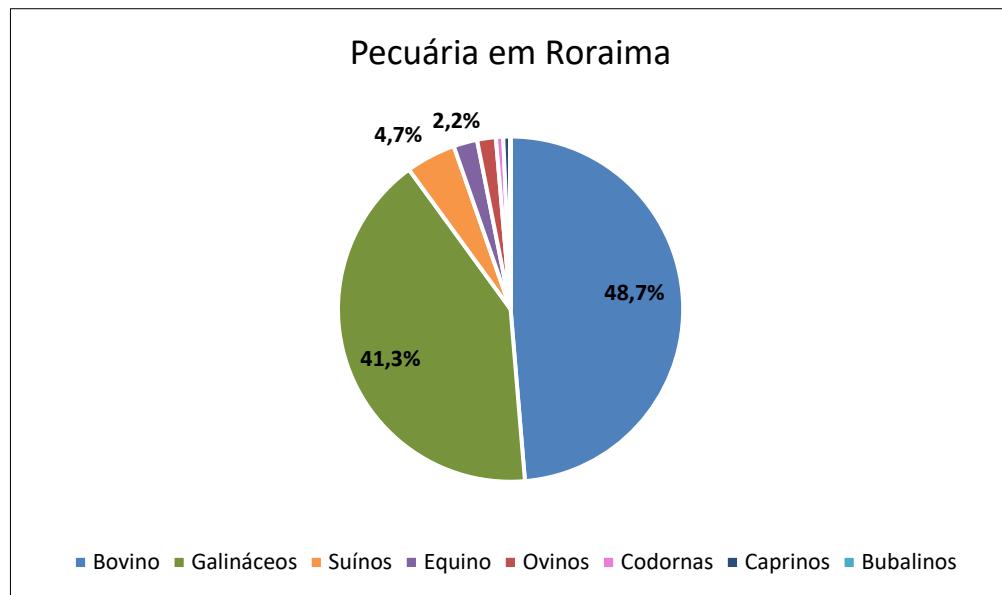


Figura 5 - Atividade Pecuária em Roraima – 2018.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE (2017)

Boa Vista possui um frigorífico destinado a atender não só a demanda da capital, mas também por receber animais de fazendas dos municípios vizinhos, o FRIGO 10. Em 2018, quando iniciou as atividades, esse frigorífico era responsável pelo abate médio de 200 animais por dia, quando atingir sua capacidade máxima, o frigorífico poderá abater até 700 bovinos por dia.

O peso ideal do bovino para o abate varia de acordo com a espécie e o sexo do animal. Segundo ALENCAR *et al.* (2007), o peso mínimo para a entrada em confinamento ocorre quando o animal atinge em torno dos 400 kg, o que pode acontecer entre 18 e 30 meses de idade.

Admitindo que a capacidade atual de abate do frigorífico na capital seja de 350 animais por dia e que o frigorífico opera 300 dias no ano, seria possível abater 105 mil animais por ano. Esse número parece adequado, uma vez que Boa Vista e municípios vizinhos possuem rebanho com 490 mil cabeças de gado (IBGE, 2018b), das quais nem todas se destinam à pecuária de corte e os animais que são destinados ao abate necessitam de até 2,5 anos para atingir o peso ideal.

Segundo informações do frigorífico, o boi gordo para abate tem cerca de 440 kg, sendo 18 kg de gordura. Considerando o abate de 105 mil animais/ano, é possível obter 1.890 toneladas de gordura bovina em Boa Vista por ano.

Ao contrário do abate bovino, em Roraima não há abate inspecionado de frangos (AVISITE, 2020), não sendo possível saber a capacidade de abate da região. Contudo, dados do IBGE (2018b) indicam que 60% da criação de galináceos de Roraima concentra-se em Boa Vista, com 410 mil aves.

Por outro lado, o estado de Sergipe, que em 2019 bateu 2,9 milhões de aves, apresenta 100% de seu abate inspecionado. Esse estado possui o dobro da população de galináceos de Roraima, admitindo que Roraima segue os mesmos procedimentos adotados por Sergipe, estima-se que o abate de galináceos em Roraima é de 1,45 milhões de aves, sendo 60% desse valor, 870 mil, na capital.

Apesar de parecer estranho esse número não é absurdo, uma vez que o ganho de peso dos galináceos é rápido, podendo o abate ocorrer por volta do 48º dia de vida do animal (AVISITE, 2018).

Segundo SOUZA *et al.* (2005), de cada frango é possível obter 67,8 gramas de gordura, o que para Boa Vista resulta em 59 toneladas de gordura por ano.

A pecuária suína, por sua vez, é a terceira maior do estado, em 2018 apresentava população total de 58.550 animais em Boa Vista e municípios vizinhos (IBGE, 2018b). Para os suínos, o peso de abate é atingido por volta dos seis meses de idade (FÁVERO, *et al.*, 2011).

Em Boa Vista o frigorífico MAFIR possui capacidade de abate de 250 suínos por dia. Considerando que o frigorífico opere 300 dias por ano, calcula-se que 75.000 animais sejam abatidos.

PELOSO *et al.* (2017) informa que o suíno quando pronto para o abate tem aproximadamente 20 kg de gordura, o que resulta em 1.500 toneladas de gordura de origem suína para a região de Boa Vista por ano.

Somando a gordura resultante do abate de bovinos, galináceos e suínos obtém o total de 3.449 toneladas de gordura/ano.

Cada quilograma de gordura pode ser convertido em 750 ml de biodiesel (BARROS e JARDINE, 2005), dessa forma, seria possível obter até 2,59 milhões de litros de biocombustível de origem animal por ano.

No entanto, é recomendado que o biocombustível de origem animal seja misturado a óleos vegetais para a produção de biodiesel, de forma que o biodiesel animal não represente mais do que 20% da composição do biodiesel, a fim de evitar a solidificação do combustível (COLLARES, 2019).

Dessa forma, será calculado o incremento de geração que pode ser alcançado na usina que utiliza o biodiesel de soja ao ser acrescentado o biocombustível proveniente da gordura animal.

Fazendo com que o percentual de biodiesel de origem animal não ultrapasse 20% da mistura e considerando a massa específica do biodiesel igual a 0,9 kg/litro, conforme Resolução ANP n° 45/2014, calcula-se que 2.328 toneladas de biodiesel de origem animal podem ser adicionadas ao óleo vegetal.

Considerando que o biodiesel de origem animal será utilizado nas usinas dos municípios Boa Vista e Alto Alegre, Tabela 25, obtém-se que a nova capacidade de geração a partir da mistura dos biocombustíveis é de 10 MW, elevando em 1 MW a capacidade da usina.

Tabela 25 - Biodiesel Animal adicionado ao de Soja – Potência da UTE por Ponto de Conexão

Ponto de Conexão	Município	Biodiesel de soja (kg/ano)	Biodiesel de gordura (kg/ano)	Total de Biodiesel (kg/ano)	Capacidade Processamento (kg/hora)	Energia no Biodiesel (kWmed)	UTE Eficiência 50% (MW)
Sucuba	Alto Alegre	6.835.220	1.708.805	8.544.025	975	10.209	5,1
Boa Vista	Boa Vista	4.082.212	619.261	4.701.473	537	5.618	2,8
Bonfim	Bonfim	4.712.914	-	4.712.914	538	5.631	2,8

III. 1.6 – Biomassa de Madeira

Segundo dados disponíveis no Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA) a geração de energia a partir de resíduo florestal representa apenas 0,3% da capacidade instalada no país.

Apesar de não ser expressivo em termos nacionais, o resíduo de madeira pode ser um combustível importante para a geração de energia nos sistemas isolados. Por outro lado, é importante garantir que o seu uso não venha a provocar desmatamento, uma vez que as localidades isoladas, em sua maioria, estão localizadas próximo à floresta Amazônica.

Existem dois caminhos para que a madeira possa vir a ser utilizada como recurso energético sem impactar no desmatamento, um deles é por meio do aproveitamento do resíduo resultante da indústria madeireira e o segundo é através a plantação de florestas energéticas ou comerciais.

A atividade industrial madeireira é altamente geradora de resíduos, o não aproveitamento desses resíduos resulta em dano ambiental e perda de oportunidade para a indústria. A utilização do resíduo de madeira, incluindo o uso energético, pode gerar lucro para a iniciativa privada e reduzir problemas ambientais de interesse para a sociedade (MMA, 2009).

O IBAMA disponibiliza, por meio do Documento de Origem Florestal – DOF, relatórios com as informações de transporte e armazenamento de produtos florestais de origem nativa e a procedência desses produtos (IBAMA, 2019).

Diversos são os produtos florestais que estão sujeitos ao controle do IBAMA e necessitam da emissão do DOF para o seu transporte, tanto produto florestal bruto: madeira em tora, torete, poste não imunizado, escora, estaca, lascas, lenha e xaxim; quanto produto florestal processado como madeira serrada, piso e rodapé.

A madeira é um importante insumo para a indústria de Roraima, a tabela abaixo apresenta a relação de todos os produtos produzidos no estado.

Tabela 26 - Produtos da indústria madeireira produzidos em RR

Alisar	Forro (Lambril)	Madeira serrada (viga)	Rolete
Bloco, quadrado ou filé	Lapidados	Madeira serrada (vigota)	Sarrafo
Caibrinhos	Lascas	Pisos e Assoalhos	Tábua Curta
Caibro Curto	Madeira serrada (caibro)	Portal ou Batente	Tacos
Carvão Vegetal	Madeira serrada (prancha)	Resíduo para Aproveitamento Industrial	Tora
Carvão Vegetal de resíduo	Madeira serrada (pranchão desdobrado)	Resíduo para Fins Energéticos	Toretos
Decking	Madeira serrada (tábua)	Ripa Curta	Viga Curta
Dormente	Madeira serrada (vareta)	Ripas	Vigota Curta

Fonte: Elaboração própria a partir do DOF-2017 (IBAMA,2019)

Da planilha DOF é possível verificar que no estado de Roraima o transporte dos produtos da indústria madeireira tem origem em 10 municípios, Tabela 27, isso indica que neles pode haver processamento da madeira e, consequentemente, serrarias instaladas. Os municípios são: Alto Alegre, Boa Vista, Cantá, Caracaraí, Caroebe, Iracema, Mucajaí, Rorainópolis, São João da Baliza e São Luiz.

A tabela abaixo apresenta o volume de produtos produzidos pela indústria madeireira em Roraima, por município, desconsiderando o carvão e os resíduos.

Tabela 27 - Volume de produtos de madeira produzidos por município

Município de Origem	Produto	Total (m ³)	Total Geral (m ³)
Alto Alegre	Tora	2.349	2.349
Boa Vista	Alisar	8	76.695
	Bloco, quadrado ou filé	1.407	
	Caibrinhos	10	
	Caibro Curto	1	

Município de Origem	Produto	Total (m³)	Total Geral (m³)
	Decking	12	
	Forro (Lambril)	200	
	Lapidados	10	
	Madeira serrada (caibro)	8.453	
	Madeira serrada (prancha)	12.259	
	Madeira serrada (pranchão desdobrado)	5.384	
	Madeira serrada (tábua)	11.422	
	Madeira serrada (viga)	19.471	
	Madeira serrada (vigota)	5.921	
	Pisos e Assoalhos	53	
	Portal ou Batente	66	
	Ripa Curta	0	
	Ripas	4.987	
	Rolete	2	
	Sarrafo	6.491	
	Tábua Curta	2	
	Tora	535	
	Bloco, quadrado ou filé	97	
	Madeira serrada (caibro)	163	
	Madeira serrada (prancha)	13	
	Madeira serrada (pranchão desdobrado)	25	
	Madeira serrada (tábua)	316	
Cantá	Madeira serrada (vareta)	1	12.448
	Madeira serrada (viga)	267	
	Madeira serrada (vigota)	79	
	Ripas	189	
	Sarrafo	125	
	Tora	11.173	
	Bloco, quadrado ou filé	379	
	Lascas	6	
	Madeira serrada (caibro)	1.417	
	Madeira serrada (prancha)	943	
	Madeira serrada (pranchão desdobrado)	209	
Caracaraí	Madeira serrada (tábua)	1.251	143.880
	Madeira serrada (viga)	6.084	
	Madeira serrada (vigota)	2.103	
	Ripas	1.144	
	Sarrafo	3.179	
	Tora	122.607	
	Toretes	4.559	
CAROEBE	Tora	6.830	6.830
IRACEMA	Tora	8.925	8.925
	Alisar	18	
	Bloco, quadrado ou filé	228	
	Caibrinhos	17	
	Decking	476	
	Forro (Lambril)	33	
	Madeira serrada (caibro)	945	
	Madeira serrada (prancha)	332	
Mucajaí	Madeira serrada (pranchão desdobrado)	107	10.393
	Madeira serrada (tábua)	1.823	
	Madeira serrada (viga)	1.897	
	Madeira serrada (vigota)	1.057	
	Pisos e Assoalhos	40	
	Portal ou Batente	50	
	Ripas	462	
	Rolete	4	

Município de Origem	Produto	Total (m³)	Total Geral (m³)
Rorainópolis	Sarrafo	1.311	234.781
	Tacos	15	
	Tora	1.580	
	Alisar	8	
	Bloco, quadrado ou filé	1.966	
	Decking	103	
	Dormente	118	
	Forro (Lambril)	198	
	Madeira serrada (caibro)	6.966	
	Madeira serrada (prancha)	6.344	
	Madeira serrada (pranchão desdobrado)	1.029	
	Madeira serrada (tábua)	9.785	
	Madeira serrada (vareta)	28	
	Madeira serrada (viga)	25.239	
	Madeira serrada (vigota)	8.318	
	Pisos e Assoalhos	53	
	Portal ou Batente	66	
	Ripas	6.537	
	Rolete	439	
	Sarrafo	13.549	
	Tora	152.540	
	Toretas	1.398	
	Viga Curta	33	
	Vigota Curta	65	
São João da Baliza	Bloco, quadrado ou filé	31	987
	Madeira serrada (caibro)	55	
	Madeira serrada (prancha)	67	
	Madeira serrada (pranchão desdobrado)	21	
	Madeira serrada (tábua)	151	
	Madeira serrada (viga)	253	
	Madeira serrada (vigota)	152	
	Ripas	99	
	Sarrafo	157	
	Bloco, quadrado ou filé	71	
São Luiz	Madeira serrada (caibro)	244	31.525
	Madeira serrada (prancha)	191	
	Madeira serrada (pranchão desdobrado)	39	
	Madeira serrada (tábua)	442	
	Madeira serrada (viga)	1.446	
	Madeira serrada (vigota)	437	
	Ripas	394	
	Sarrafo	873	
	Tora	27.388	

Fonte: Elaboração própria a partir do DOF-2017 (IBAMA, 2019)

Cabe, contudo, verificar se de fato há serrarias em todos os municípios acima listados. Para tanto, serão pesquisados os estabelecimentos cadastrados em Roraima para atuarem na indústria de processamento da madeira.

A Secretaria do Trabalho, ligada ao Ministério da Economia, disponibiliza a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), essas informações devem ser declaradas por todos os estabelecimentos com ou sem empregados.

No RAIS há a possibilidade de listar as atividades econômicas com base na versão 2.0 da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0). Esta versão apresenta 285 grupos subdivididos em 673 classes econômicas (IBGE, 2007).

Dentro dessas classes foi possível identificar seis que estão diretamente relacionadas às atividades das serrarias:

- Divisão 16 – Fabricação de Produtos de Madeira
 - Grupo 16.1 – Desdobramento de Madeira
 - Classe 16.10-2 – Desdobramento de Madeira
 - Grupo 16.2 – Fabricação de produtos de madeira, cortiça e material trançado, exceto móveis
 - Classe 16.21-8 - Fabricação de madeira laminada e de chapas de madeira compensada, prensada e aglomerada
 - Classe 16.22-6 - Fabricação de estruturas de madeira e de artigos de carpintaria para construção
 - Classe 16.23-4 - Fabricação de artefatos de tanoaria e de embalagens de madeira
 - Classe 16.29-3 - Fabricação de artefatos de madeira, palha, cortiça, vime e material trançado não especificados anteriormente, exceto móveis
- Divisão 31 – Fabricação de Móveis
 - Grupo 31.0 – Fabricação de Móveis
 - Classe 31.01-2 – Fabricação de móveis com predominância de madeira

Pesquisando no RAIS a quantidade de estabelecimentos em Roraima, para cada uma das classes acima, obteve-se as informações listadas na Tabela 28, onde pode ser

visto que o desdoblamento de madeira e a fabricação de móveis de madeira são as principais atividades, com destaque para os municípios de Boa Vista e Rorainópolis.

Tabela 28 - Estabelecimentos em RR que produzem produtos de madeira e móveis

Município	Desdoblamento de Madeira	Fabricação de madeira laminada e de chapas de madeira compensada, prensada e aglomerada	Fabricação estruturas de madeira e carpintaria para construção	Fabricação de artefatos de artigos de tanoaria e de embalagens de madeira	Fabricação de artefatos de madeira, palha, cortiça, vime e material trançado não especificados anteriormente, exceto móveis	Fabricação de móveis com predominância de madeira	Total
Boa Vista	4	0	2	0	2	8	16
Cantá	1	0	0	0	0	1	2
Caracaraí	4	0	0	0	0	0	4
Mucajáí	4	0	0	0	0	0	4
Rorainópolis	11	0	0	0	0	1	12
São João da Baliza	2	0	0	0	0	0	2
São Luiz	1	0	0	0	0	0	1
Total	27	0	2	0	2	10	41

Fonte: Elaboração própria a partir do RAIS⁶

Comparando a Tabela 27 com a Tabela 28, percebe-se que a segunda exclui três municípios de sua relação: Alto Alegre, Caroebe e Iracema.

Pela Tabela 27 nota-se que esses municípios são responsáveis somente pela disponibilização de tora, ou seja, produtos florestais brutos não processados em serrarias.

Assim, excluindo os produtos primários da relação apresentada na Tabela 27, obtemos a Tabela 29, a qual apresenta relação mais coerente com a Tabela 28.

Tabela 29 - Volume de produto de madeira processado em Roraima

Município de Origem	Total Produto de madeira (m ³)
BOA VISTA	76.160
CANTÁ	1.275
CARACARAÍ	16.708
MUCAJÁÍ	8.813
RORAINÓPOLIS	80.843
SÃO JOÃO DA BALIZA	987

⁶ Disponível para consulta no endereço eletrônico, por meio de cadastro: http://bi.mte.gov.br/bgcaged/caged_rais_estabelecimento_id/caged_rais_estabelecimento_basico_tab.php. Acesso em: 09 de maio de 2020.

Município de Origem	Total Produto de madeira (m ³)
SÃO LUIZ	4.137
TOTAL	188.923

Fonte: Elaboração própria a partir do DOF-2017 (IBAMA,2019)

Da planilha DOF ainda é possível obter as espécies de madeira utilizadas pela indústria madeireira de Roraima, de onde nota-se que mais de 100 espécies são empregadas nesse mercado. O elevado número dificulta a estimativa da capacidade de geração de energia a partir desse recurso, uma vez que cada espécie possui características próprias e, consequentemente, poder calorífico próprio.

Para contornar esse problema e estimar o potencial de geração a partir dos resíduos de madeira, será avaliada a possibilidade de considerar uma única espécie substituindo todas as demais. A espécie escolhida para essa avaliação é a *Acacia mangium*.

A *Acacia mangium* é uma árvore nativa do noroeste da Austrália, que quando adulta pode ultrapassar os 30 metros de altura (SMIDERLE, 2010). Possui como característica o fato de ser uma espécie nitrificadora, capaz de devolver nitrogênio ao solo, o que permite que essa espécie se desenvolva em solos pobres e degradados, sendo útil para viabilizar a agricultura em terras antes impróprias (BALIEIRO *et al.*, 2010).

A importância da Acácia reside não só na sua capacidade de fixar o nitrogênio no solo, mas também nos produtos que dela podem ser extraídos, tais como a polpa; produtos apícolas (mel e própolis, por exemplo); as folhas podem ser utilizadas para alimentar animais - uma vez que apresentam quantidade elevada de proteína; e a madeira pode ser utilizada para a construção civil (MARTO, 2007).

A *Acacia mangium* foi introduzida em Roraima no final da década de 1990 por meio do plantio de 1.000 mudas, com o objetivo avaliar a sua adaptação à região, pois o estado possui características semelhantes às de regiões da Ásia onde a espécie se desenvolve. Após um ano de plantio o resultado foi considerado satisfatório, tendo sido observado rápido crescimento com perspectiva de suprimento contínuo de madeira (HERZOG, 2007).

Diante dos resultados obtidos, a empresa Ouro Verde Agrosilvopastoril (OVA) iniciou um grande projeto de florestamento da *Acacia mangium* em Roraima, através da aquisição de 80.866 hectares, com área plantada de 26.757 ha, o projeto está localizado em 4 municípios: Boa Vista, Cantá, Alto Alegre e Bonfim (HERZOG, 2007).

Dentre os objetivos do projeto OVA estão: venda de madeira serrada e produtos semiacabados para o mercado local e internacional; produção de fibras de madeira, pallets e briquetes a partir dos resíduos; e busca de clientes e fornecedores para fazer parceria (HERZOG, 2007).

Dessa forma, o resíduo de madeira proveniente da Acácia pode ser utilizado para a geração de energia, sendo necessário estimar, por meio da Tabela 29, a capacidade demandada pelas serrarias instaladas na região do projeto OVA.

Como visto, a plantação de Acácia se estende por quatro municípios: Alto Alegre, Bonfim, Boa Vista, e Cantá, sendo que somente os dois últimos possuem serrarias, por outro lado, Boa Vista é o único que possui ponto de conexão com capacidade de escoamento para a instalação de uma usina. Assim, a análise irá se concentrar na capacidade das serrarias localizadas na capital.

A fim de avaliar a quantidade de resíduos gerados pela indústria madeireira em Boa Vista, foi consultado o Anexo II da Instrução Normativa IBAMA nº 21, de 24 de dezembro de 2014, que apresenta os limites máximos de coeficiente de rendimento volumétrico para a conversão de produtos florestais por meio de processamento industrial.

De maneira geral, é possível observar que para o processamento da Tora (produto florestal bruto) o coeficiente de rendimento é de 45%, ou seja, cerca de 55% de madeira será desperdiçado na forma de resíduo durante seu processamento, Tabela 30. A característica irregular do tronco, árvores com bifurcações, podridão e mal formação são alguns exemplos que justificam a quantidade elevada de resíduo resultante do desdobramento.

Tabela 30 - Coeficiente de rendimento do processamento da tora

Item a Processar	Produto Processado	Índice (%)
Tora	Bloco, Quadrado ou Filé (m ³)	45
	Bolacha de Madeira	90
	Cavacos (m ³)	100
	Lâmina Torneada (m ³)	55
	Lâmina Faqueada (m ³)	45
	Madeira Serrada (Caibro) (m ³)	45
	Madeira Serrada (Prancha) (m ³)	45
	Madeira Serrada (Pranchão) (m ³)	45
	Madeira Serrada (Tábua) (m ³)	45
	Madeira Serrada (Vareta) (m ³)	45
	Madeira Serrada (Viga) (m ³)	45
	Madeira Serrada (Vigota) (m ³)	45
	Ripa (m ³)	45
	Sarrafo (m ³)	45

Fonte: Elaboração própria a partir do ANEXO II da Instrução Normativa 21/2014

Comparando a tabela acima com a Tabela 27, nota-se que, segundo informações do IMABA (2014), não é possível obter pelo processamento direto da tora os seguintes produtos fabricados em Boa Vista: alisar; decking; forro; pisos e assoalhos; portal ou batente; e rolete. Para contornar esse problema, será necessário primeiro transformar a Tora em Bloco, para em seguida obter os demais produtos. O coeficiente de rendimento do bloco nos demais produtos é de 50%, assim todo o processo de conversão, terá coeficiente de rendimento volumétrico de 22,5%⁷.

Além disso, alguns produtos não constam na Instrução IBAMA (2014): caibro curto, caibrinho, ripa curta, tábua, lapidados e rolete. Para os produtos Caibro Curto e Caibrinho foi adotado, o mesmo coeficiente de conversão para o produto “Madeira Serrada Caibro”, já para a Ripa Curta foi considerado o coeficiente de “Ripa”; e para Tábua, por sua vez, foi adotado o coeficiente do produto “Madeira Serrada Tábua”.

Já para Lapidados e Rlete, que também não constam na relação apresentada pelo IBAMA (2014), e para os quais não foram identificados produtos similares, será considerado coeficiente de rendimento de 22,5%, correspondente à da transformação da tora em bloco, seguida da conversão do bloco nesses produtos.

Ainda segundo Instrução Normativa IBAMA (2014), o saldo de resíduo madeireiro gerado na conversão de produtos brutos para produtos processados, conforme

⁷ $45\% \times 50\% = 22,5\%$

disposto no Art. 32, terá redução de no mínimo 10%, referente a perdas na forma de serragem e pó de serra.

A Tabela 31 apresenta o cálculo realizado para obter a quantidade de resíduo gerado pela indústria madeireira em Boa Vista. Calcula-se que a indústria madeireira de Boa Vista demanda 188.917 m³ de tora e gera 93.865 m³ de resíduo.

Tabela 31 - Produção estimada de Resíduo de Madeira e total de Tora em Boa Vista

Município de Origem	Produto Processado	Total (m ³)	Coeficiente de Rendimento volumétrico (%)	Quantidade Estimada de Resíduo gerado (m ³)	Total de madeira necessária para processamento (m ³) ⁸
Boa Vista	Alisar	8	22,5	27,2	39,1
	Bloco, quadrado ou filé	1.407	45	1.719,6	3.474,0
	Caibrinhos	10	45	12,7	25,6
	Caibro Curto	1	45	0,8	1,6
	Decking	12	22,5	41,2	59,1
	Forro (Lambril)	200	22,5	689,4	988,3
	Lapidados	10	22,5	34,4	49,4
	Madeira serrada (caibro)	8.453	45	10.331,5	20.871,7
	Madeira serrada (prancha)	12.259	45	14.983,8	30.270,3
	Madeira serrada (pranchão desdobrado)	5.384	45	6.580,5	13.293,9
	Madeira serrada (tábua)	11.422	45	13.960,2	28.202,3
	Madeira serrada (viga)	19.471	45	23.798,2	48.077,1
	Madeira serrada (vigota)	5.921	45	7.236,7	14.619,6
	Pisos e Assoalhos	53	23	182,7	261,9
	Portal ou Batente	66	22,5	227,1	325,6
	Ripa Curta	0,3	45	0,3	0,7
	Ripas	4.987	45	6.095,8	12.314,8
	Rolete	2	22,5	7,5	10,7
	Sarrafo	6.491	45	7.933,5	16.027,2
	Tábua Curta	2	45	2,2	4,5
Total Produto (m³)		76.160			
Total Resíduo (m³)				93.865	
Volume Total Tora (m³)					188.917

BALIEIRO (2004) estudou a capacidade da *Acacia mangium* em acumular biomassa e nutrientes para as condições de um sítio na cidade do Rio de Janeiro. O estudo concluiu que o plantio de 5 anos de idade de Acácia acumula em média 134,8 toneladas de biomassa por hectare - considerando folhas (8,9 t/ha); galhos (16,2 t/ha); casca (14,7 t/ha); e tronco (95 t/ha).

TONINI (2010) apresenta a produção da *Acacia mangium* esperada para diferentes tipos de sítio, para um sítio considerado bom e com árvores de 6 anos é obtido

⁸ Acrescentando 10% de perdas em forma de pó e serragem.

uma plantação com 914 árvores/hectare, cujo diâmetro do tronco é de 15,3 cm e a altura é de 15,9 m, resultando em volume de 0,29 m³.

Unindo as informações de BALEIRO (2004) com as de TONINI (2010) obtemos que para um sítio bom, com árvores entre 5 e 6 anos, cada hectare terá 914 árvores, onde o peso dos troncos somarão 95 toneladas, resultando em peso médio de 104 kg/tronco. Dessa forma, cada tronco apresenta densidade de 0,356 ton/m³.

Em comparação, GATTO (2003) estudando o eucalipto, espécie com características semelhantes à da Acácia, em sítios do Rio Grande do Sul obteve massa específica de 0,44 ton/m³. O que indica que a consideração acima adotada é razoável devido às prováveis diferenças nas características do solo de cada sítio.

Com área plantada de 26.757 hectares para projeto OVA, considerando período de 6 anos entre dois cortes consecutivos em um mesmo sítio, a área de exploração por ano não deve ultrapassar 4.459,5 hectares, de onde pode ser obtido 4.075.983 árvores, resultando num volume total de 1.191.522,5 m³ de tora por ano.

Comparando o resultado calculado, com o volume de tora necessário para suprir a capacidade das serrarias na região de Boa Vista, 188.917 m³ - Tabela 31, conclui-se ser possível adorar a Acácia como única espécie utilizada nas serrarias.

Na sequência, é importante avaliar a quantidade de energia que pode ser gerada a partir da madeira da Acácia. Segundo VALE (2000), o poder calorífico superior (PCS) da *Acacia mangium* é de cerca de 4.600 kcal/kg, a depender das características químicas do solo, por outro lado, SOUZA (2004) indica que esse valor pode chegar a 4.900 kcal/kg.

Para estimar o total de energia que pode ser obtido a partir da utilização da madeira como combustível é necessário conhecer o seu poder calorífico inferir (PCI). Estudos realizados na região sul do Brasil com o Eucalipto, espécie com características semelhantes à da Acácia, revelou PCI de 1.915 KWh/m³, para madeiras com umidade de 17% e massa específica de 0,44g/cm³, o que equivale a 3.742 kcal/kg (GATTO, 2003); já COUTO *et al.* (2013), estudando a Acácia Negra, encontraram PCI médio⁹ de 3.618 kcal/kg, para madeiras com umidade de 20% e massa específica de 0,61 g/cm³.

⁹ Nesse estudo foram analisadas seis amostras, onde o PCI variou de 3.556 kcal/kg a 3.731 kcal/kg.

Por sua vez, FONTES (1994) analisando algumas espécies de Pinnus, apresentou a influência da umidade no poder calorífico da madeira de Bracatinga (*Mimosa scabrella*), que assim como a Acácia, é uma espécie leguminosa fixadora de nitrogênio que apresenta algumas características semelhantes às do Eucalipto (FOELKEL, 2012), Tabela 32.

Tabela 32 - Influência da umidade no poder calorífico

Umidade da madeira em base seca (%)	PCS (kcal/kg)	PCI (kcal/kg)
0	4.890	4.566
8	4.453	3.779
15	4.147	3.246
27	3.826	2.630
40	3.404	2.029
60	3.110	1.516
80	2.774	1.094

Fonte: FONTES (1994)

Como pode ser observado na tabela acima, o PCI apresenta relação inversamente proporcional ao teor de umidade. Como não foram encontradas referências sobre o PCI da madeira da Acácia plantada na região de Boa Vista, nem é possível ter certeza do percentual de umidade que a madeira terá quando for utilizada para a geração de energia, o presente estudo adotará PCI de 3.000 kcal/kg para madeira da Acácia.

A Tabela 33 apresenta o cálculo da potência da usina, UTE ciclo Rankine com eficiência de geração térmica de 30%, que pode ser instalada em Boa Vista a partir dos resíduos das serrarias, como resultado, obtém-se usina com capacidade de 4MW.

Tabela 33 - Resíduo de Serraria - Cálculo da Potência da UTE (MW)

Ponto Conexão	Área Plantada (ha)	Área máxima utilizada/ano (ha)	Resíduo serraria m ³	Rendim. médio ton/m ³ /ano	Peso Resíduo (ton/ano)	Capacid. Processam. (kg/h)	PCI Acácia (kJ/kg)	Energia madeira kWmed	UTE 30% MW
Boa Vista	26.757	4.460	93.863	0,356	33.415	3.815	12.560	13.309	4.0

Da Tabela 31 percebe-se que a quantidade de madeira anualmente disponível no projeto OVA é superior à quantidade de madeira necessária para alimentar as serrarias da

capital. Dessa forma, será calculada a capacidade máxima de uma usina termelétrica, utilizando como combustível a madeira proveniente diretamente da Acácia, ou seja, será avaliada a capacidade de geração a partir de floresta energética.

Desconsiderando a madeira que deve ser destinada para as serrarias, considerando perda de 10% no corte e considerando que as árvores serão cortadas aos 6 anos, obtemos como resultado a possibilidade de instalar na região uma UTE com potência de 38 MW.

Tabela 34 - Floresta Energética - Cálculo da Potência da UTE (MW)

Ponto Conexão	Área a ser utilizada ano - Exploração 6 anos (ha)	Tora – Descontando Serraria ¹⁰ (m ³)	Rendim. médio ton/m ³ /ano	Cavaco (ton/ano)	Capacid. Processam. (kg/h)	PCI Acácia (kJ/kg)	Energia madeira (kWh/h)	UTE 30% (MW)
Boa Vista	4.460	902.345	0,356	321.235	36.671	12.560	127.944	38

Assim, com o resíduo proveniente das serrarias e com o cavaco obtido diretamente da floresta de Acácia é possível considerar a instalação de uma UTE de 42 MW utilizando cavaco de madeira em Boa Vista.

III. 1.7 – Resíduo Sólido Urbano e Lodo de Esgoto

A Lei nº 12.305, de 02 agosto de 2010, define resíduos como todo material descartado resultante de atividades humanas cuja destinação final ocorre em estado sólido ou líquido.

WORLD BANK (2018) estima que em 2016 o mundo tenha produzido 2,01 bilhões de toneladas de resíduo sólido urbano (RSU) e espera que esse número atinja 3,4 bilhões de toneladas em 2050.

Segundo ABRELPE (2019), em 2018 o Brasil gerou 79 milhões de toneladas de RSU, dos quais 92% foi coletado. Desse montante, 43,3 milhões de toneladas (59,5%) teve destinação adequada em aterros sanitários, o restante, 29,5 milhões de toneladas, foi despojado em local inadequado, os lixões.

¹⁰ Considerando 10% de perdas.

Quando o descarte do RSU ocorre de forma não apropriada pode ocorrer danos ao meio ambiente, como a geração de gases de efeito estufa e a contaminação dos recursos hídricos colocando em risco a saúde da população (MENDONÇA e BORNIA, 2019).

A reciclagem pode contribuir para reduzir esse problema, uma vez que busca reaproveitar resíduos, tais como papel, vidro e alumínio, transformando-os novamente em matérias-primas para a indústria. Contudo, no Brasil a separação ampla e efetiva dos resíduos para a reciclagem não é uma realidade (ABRELPE, 2012).

Outras estratégias adotadas por alguns países para lidar com o RSU são a digestão anaeróbia, incineração e a coleta de gás de aterro, delas podem ser obtidos energia elétrica ou biocombustível (WORLD BANK, 2018).

A digestão anaeróbia é a conversão do material orgânico em biogás por meio de bactérias em um ambiente pobre em oxigênio. O biogás é altamente sensível à composição das matérias-primas e às condições em que ocorre o processo da biodigestão, sendo composto principalmente por metano e dióxido de carbono (EPE, 2014, COSTA *et al.*, 2018). O biogás coletado e filtrado pode ser utilizado para a geração de eletricidade ou como combustível em veículos.

A incineração, por sua vez, é a queima direta do RSU em caldeiras, cujo calor pode ser utilizado para a geração de eletricidade.

A ABRELPE (2012) apresenta ainda a possibilidade de conversão do RSU em energia elétrica através da pirólise. Nesse procedimento o resíduo sofre degradação térmica em um ambiente com pouco ou nenhum oxigênio formando gás de síntese, que pode ser utilizado para a geração de energia (TÔRRES FILHO, 2014).

A composição do RSU influencia diretamente no seu aproveitamento energético por influenciar o poder calorífico. A composição do RSU varia consideravelmente com a renda da população, a matéria orgânica representa 32% do descarte na população de alta renda, podendo atingir até 56% nas populações mais carentes (WORLD BANK, 2018).

O tratamento adequado do lixo requer monitoramento e controle da quantidade de resíduo produzido, da sua composição e da maneira como mesmo é disposto (EPE, 2014), dessa forma, deve haver mecanismos regulatórios que orientem as atividades de gerenciamento dos resíduos (WORLD BANK, 2018).

Os municípios são os responsáveis pelo gerenciamento do RSU e devem seguir o estabelecido na Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, porém, como apresentado por MENDONÇA e BORNIA (2019), em Boa Vista a disposição do RSU ainda corre em lixões.

O WORLD BANK (2018) destaca que a construção e operação de sistemas anaeróbicos de digestão e incineração requerem grande orçamento e alta capacidade técnica e gerencial.

Diante das dificuldades apresentadas, o RSU não será considerado como recurso viável para a geração de energia em Roraima nesse estudo, contudo, essa continua sendo uma solução que deve ser analisada pelo município até mesmo como uma forma de se adequar à Política Nacional de Resíduos Sólidos, além disso, a implantação de aterros sanitários com a devida transparência no gerenciamento dos resíduos poderia contribuir para atrair investidores privados para o desenvolvimento da geração de energia a partir do RSU, trazendo benefícios para o município e para a população (MENDONÇA e BORNIA, 2019).

Em relação ao lodo de esgoto, segundo EPE (2019), o potencial nacional para produzir biometano a partir desse recurso é de 0,3 Mm³/ano.

Porém, considerando toda a dificuldade acerca da coleta e tratamento de esgoto no país, onde apenas 43% da população possui o esgoto tratado, e sendo a situação ainda pior em Roraima, onde esse índice cai para 14,7% (ANA, 2020), o lodo de esgoto também será desconsiderado desse estudo.

III. 2 – Eólica

A geração de energia a partir do recurso eólico foi a que apresentou maior crescimento nos últimos anos, a capacidade instalada mundial saltou de 181GW em 2010 para 622 GW em 2019, crescimento de 244% em 9 anos (IRENA, 2020).

No Brasil, o primeiro leilão de energia com participação de projetos eólicos ocorreu em 2007 (EPE, 2020a), o crescimento acelerado dessa fonte fez com que em 2019 os empreendimentos eólicos correspondessem a 9% da capacidade instalada do SIN, com

15GW. A expectativa é que em 2029 as usinas eólicas somem 39,5GW (MME e EPE, 2019).

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (AMARANTE *et al.*, 2001) apresenta estimativa do potencial dos ventos em todo o território nacional, apesar de não ser apropriado, ele pode ser utilizado para identificar as regiões com o melhor recurso eólico.

O Atlas foi elaborado a partir do Sistema MesoMap e de dados de estações anemométricas, sendo estas utilizadas para ajustar o modelo. Para a região Norte, o Atlas apresenta resolução de 15 km x 15 km, maior do que o observado para as demais regiões do país. Para Roraima, o Atlas utilizou os dados de duas estações anemométricas, uma delas em Boa Vista e a outra na Comunidade Indígena Água Fria, no município de Uiramutã, distante cerca de 300 km da capital, as duas torres possuem altura de medição de 10 m cujos dados foram extrapolados para a altura de 50 m (AMARANTE *et al.*, 2001).

A Figura 7 e a Figura 8 apresentam a estimativa do recurso fornecido pelo Atlas, por elas é possível perceber ventos com média superior a 7 m/s no extremo norte de Roraima, com picos acima de 8,5 m/s entre os meses de dezembro e fevereiro.

Comparando a Figura 8 com a Figura 6 percebe-se que a principal área de interesse para a instalação de usinas eólicas em Roraima está localizada em Território Indígena, porém se os resultados do Atlas estiverem corretos, o município de Bonfim pode apresentar bons ventos.



Figura 6 – Terra Indígena em Roraima

Fonte: Webmap EPE

Cabe salientar que, devido suas limitações e possibilidade de erro nos dados de entrada, o Atlas deve servir apenas como indicativo do potencial eólico.

A Portaria MME nº 102, de 22 de março de 2016, estabelece que os empreendimentos eólicos que desejam participar dos leilões de energia do SIN devem possuir dados de medição local por período não inferior a 36 meses e com altura de medição acima de 50 metros.

Tais exigências servem para reduzir as incertezas acerca da capacidade de produção da usina, minimizando os riscos para o empreendedor e para o sistema.

Sabendo que o Atlas serve apenas como indicativo e tendo em mente a importância de se realizar campanha de medição anemométrica no local onde se pretende instalar o projeto eólico, deve-se buscar por torres anemométricas em Roraima com período de medição e altura adequados.



Figura 7 – Potencial Eólico Nacional - Dezembro-Fevereiro.

Fonte: AMARANTE *et al.* (2001)

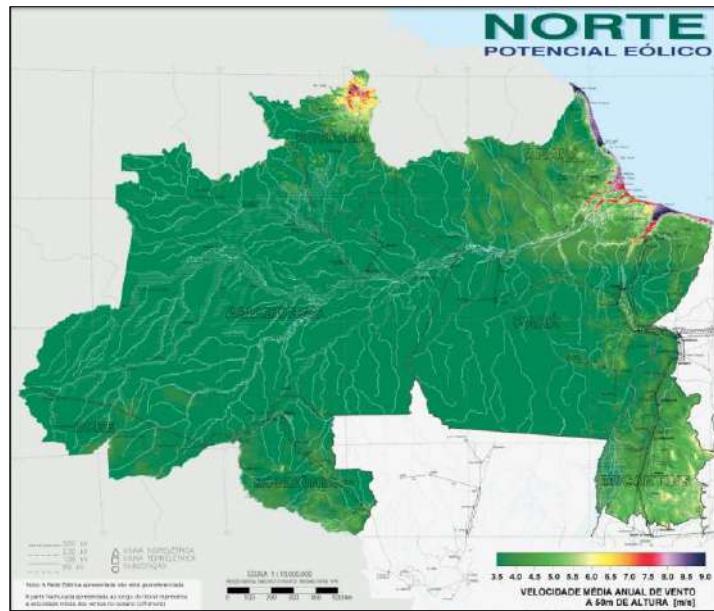


Figura 8 - Potencial Eólico - Região Norte.

Fonte: AMARANTE *et al.* (2001)

Segundo ISA (2019), em 2013 foram instaladas torres para medição eólica e solar na Terra Indígena Raposa Serra do Sol, chamado Projeto Cruviana. No total foram instaladas 3 torres de medição nas localidades Maturuca, Tamanduá e Pedra Branca, Figura 9 (ISA, 2013).

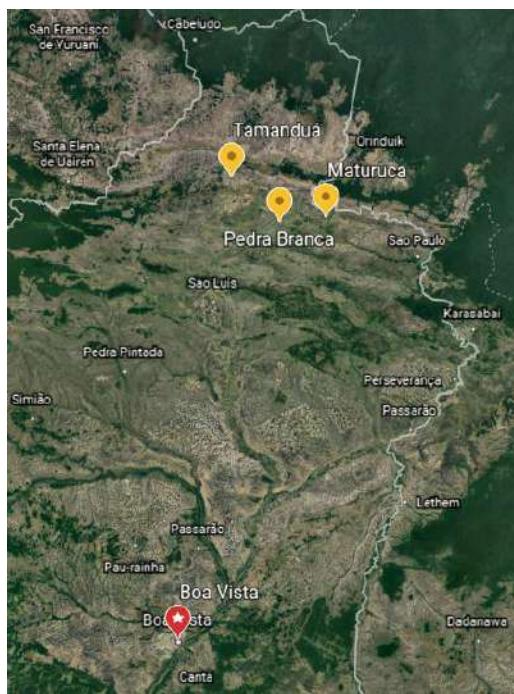
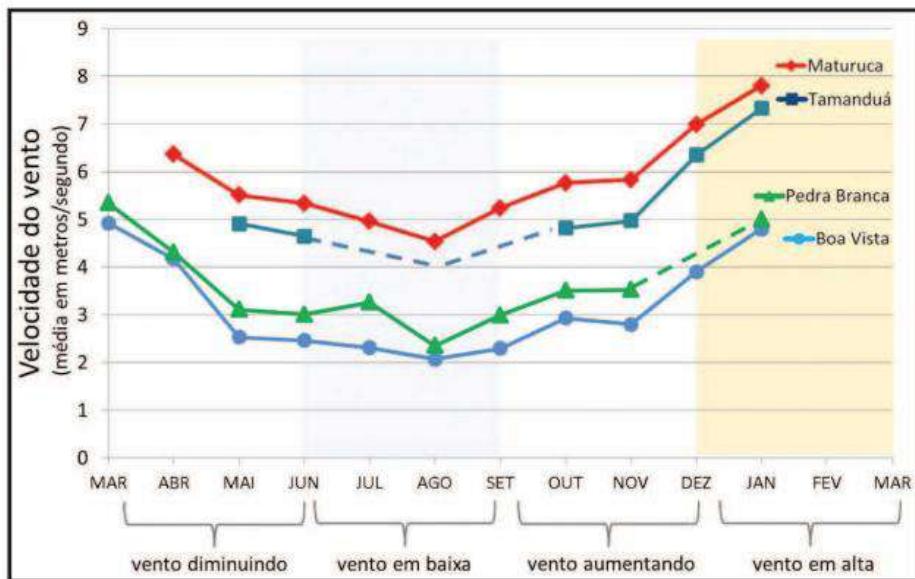


Figura 9 - Locais de instalação das torres do projeto Cruviana.

Fonte: Elaboração Própria com base em ISA (2013)

Os resultados do Projeto Cruviana são apresentados por ISA (2014), contudo o que se observa são torres com altura de 10 metros, período de medição inferior a 12 meses e longos períodos de ausência de dados, Figura 10.



Distribuição dos ventos na Raposa Serra do Sol, região das Serras, de abril de 2013 a janeiro de 2014, nas comunidades Maturuca, Tamanduá e Pedra Branca, e também no aeroporto de Boa Vista (CPTEC/INPE)

Figura 10 - Dados de medição anemométrica do Projeto Cruviana.

Fonte: Boletim de Notícias do Projeto Cruviana (ISA, 2014)

Apesar das torres terem sido instaladas há mais de 7 anos, não foram encontradas informações recentes sobre os resultados dessa medição, nem foi verificada a instalação de aerogerador para atendimento às comunidades indígenas.

A ausência de dados confiáveis sobre a qualidade dos ventos para a geração de energia elétrica na região norte de Roraima inviabiliza a consideração do recurso eólico para atendimento à região metropolitana de Boa Vista.

III. 3 – Solar Fotovoltaica

Ao lado da energia eólica, a energia solar fotovoltaica é a tecnologia renovável que apresentou maior crescimento nos últimos anos, saindo de 40 GW de capacidade instalada mundial em 2010, para 578,5 GW em 2019 (IRENA, 2020).

No Brasil, o primeiro leilão de energia com participação de projetos solar fotovoltaicos ocorreu em 2013 (EPE, 2018). Em 2019 os empreendimentos fotovoltaicos correspondiam a 1% da capacidade instalada do SIN, com 2,1 GW, e expectativa de atingir 10,6 GW em 2029 (MME e EPE, 2019).

A fim de melhor avaliar o potencial fotovoltaico brasileiro, o Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) publicou em 2017 o Atlas Brasileiro de Energia Solar. Nele foram utilizados 17 anos de dados de satélite e modelo de transferência radiativa, os quais permitiram avaliar a variabilidade espacial e temporal do recurso para todo o país (PEREIRA *et al.* 2017).

Além dos valores de satélite, o Atlas utiliza dados de medição em solo para validar os valores estimados. Para Roraima, o Atlas conta com uma única estação solarimétrica, ela está localizada em Boa Vista e pertence ao INMET (PEREIRA *et al.*, 2017).

O cadastramento de projetos de geração a partir da tecnologia solar fotovoltaica para participação nos leilões de energia do SIN solicita que o empreendedor apresente certificação com pelo menos 12 meses de medição solarimétrica no local previsto para a instalação do projeto (EPE, 2013).

Contudo, PEREZ *et al.* (1997) indicam que os erros de interpolação de dados entre estações solarimétrica cuja distância entre elas é superior a 30 km são maiores do que os erros de estimativas produzidos por modelos de transferência radiativa.

Dessa forma, mesmo a partir de poucas estações solarimétrica, como acontece com o Atlas, é possível estimar com certa confiabilidade o potencial do recurso solar em uma região a partir dos dados de satélite, ou seja, ao contrário do observado com a fonte eólica, a ausência de estação de medição local não inviabiliza a instalação do projeto solar fotovoltaico.

A Figura 11 e a Figura 12 apresentam a média anual da irradiação global horizontal (GHI) no Brasil e em Roraima, respectivamente, por elas é possível perceber que o GHI em Roraima varia de 4,25 a 5,50 kWh/m².dia, esse valor está longe de ser o mais atrativo do país, porém é um potencial que não pode ser desconsiderado, visto que é maior do que o de países como França e Alemanha (PEREIRA *et al.*, 2017).

O Estado de Roraima está localizado entre as latitudes 1,6 Sul e 5,3 Norte, ou seja, a linha do Equador cruza o estado, por esta razão, o recurso solar apresenta distribuição uniforme ao longo de todo o ano.

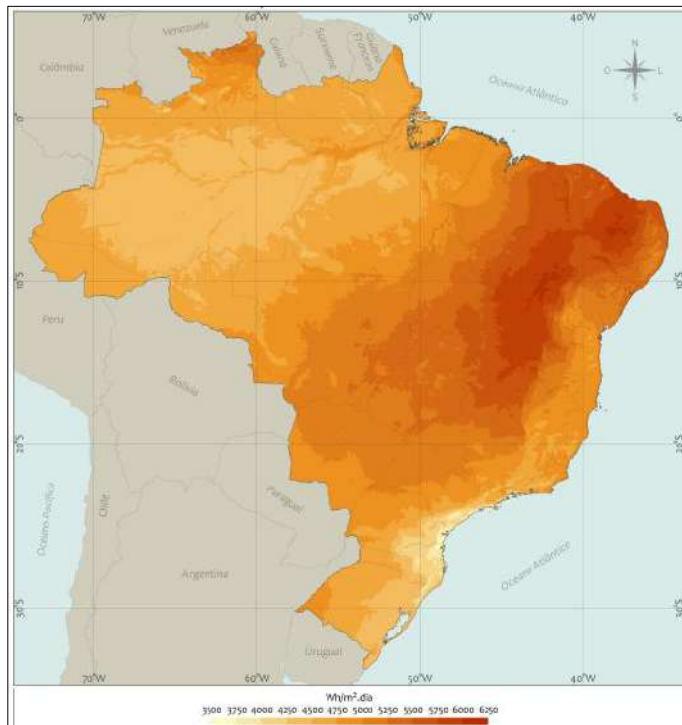


Figura 11 - Irradiação Global Horizontal – Média anual.

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2017)

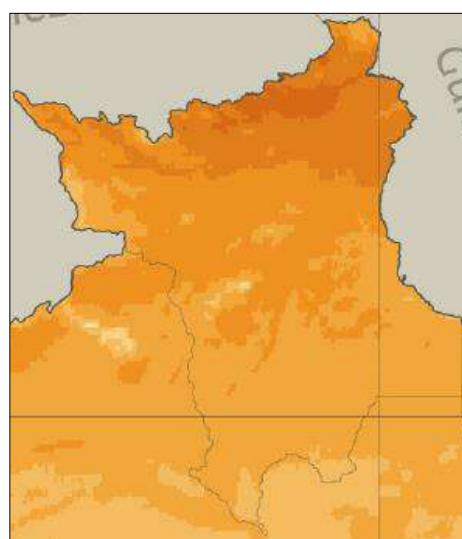


Figura 12 - Irradiação Global Horizontal em Roraima – Média anual.

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2017)

Segundo o Atlas, a irradiação máxima ocorre entre os meses de agosto e outubro, e a mínima entre abril e junho, com variação de 2,3 kWh/m².dia entre esses períodos, Figura 13.

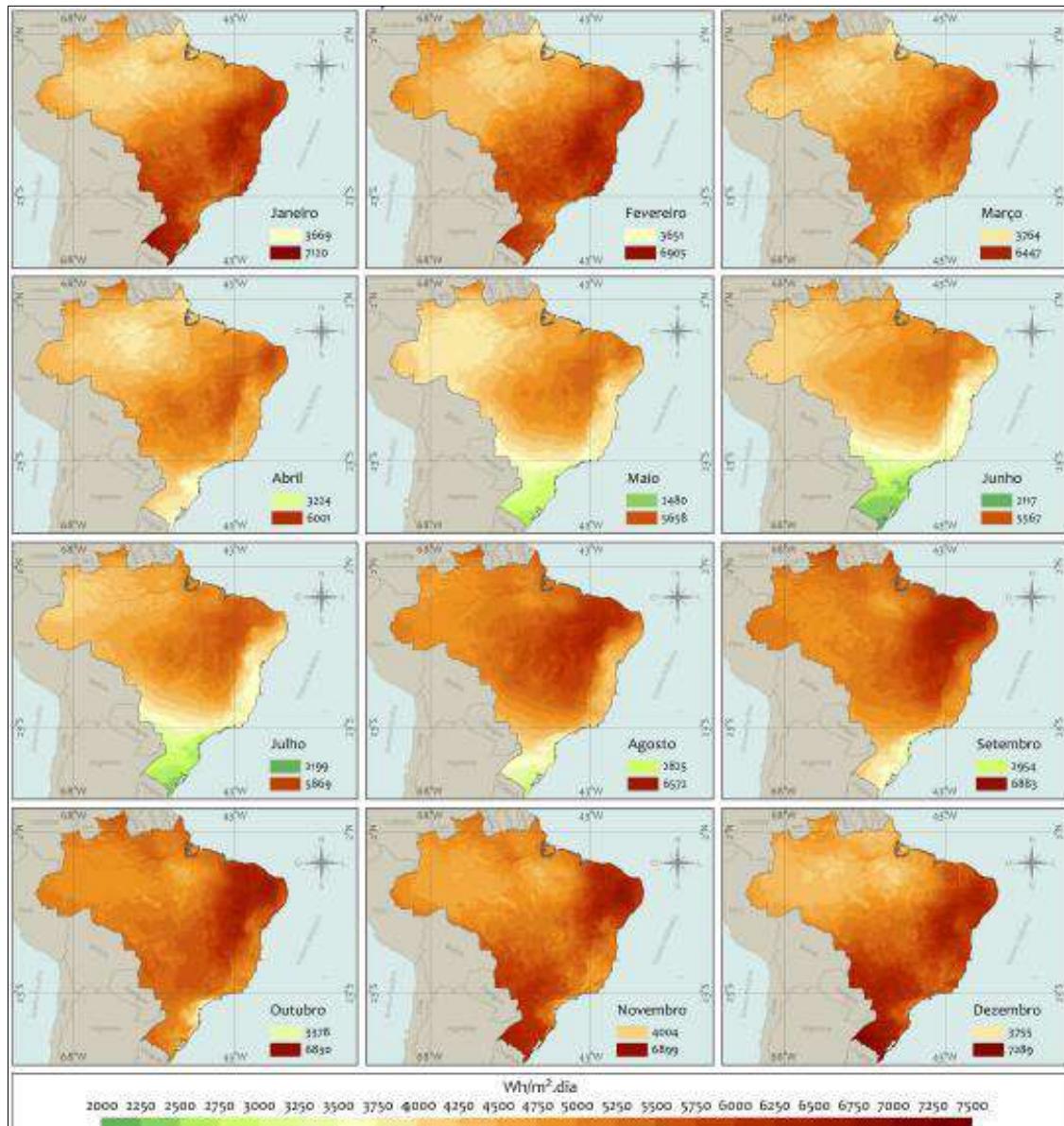


Figura 13 - Irradiação Global Horizontal – Média mensal.

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2017)

O melhor potencial encontra-se no norte do estado, que como visto anteriormente, item III. 2 – Eólica e Figura 6, é território indígena. Contudo, com o recurso bem distribuído ao longo de todo estado, é possível considerar a instalação de usina solar fotovoltaica em todos os pontos de conexão, a limitação deverá se dar pela capacidade de

escoamento de cada ponto e pela área necessária para a implantação do empreendimento, visto que, a depender da configuração, para cada MW são necessários cerca de 3 hectares, 30.000 m² de área para a instalação da usina fotovoltaica (UFV).

Para não comprometer a estabilidade elétrica do sistema é recomendado (IESS, 2021) que a capacidade instalada de UFV não ultrapasse 30% da demanda de uma localidade, assim a simulação considerará empreendimentos fotovoltaicos com potência de 20 MW, 40 MW e 60 MW em diferentes pontos de conexão, de forma que o somatório não ultrapasse 60 MW potência instalada.

Usinas desse porte foram contratadas no 29º Leilão de Energia Nova A-4 de 2019 para as regiões Sudeste e Nordeste, dessa forma, entende-se que do ponto de vista técnico não haveria dificuldade para a instalação de usinas com essa capacidade em Roraima.

Por imagem de satélite, Figura 14, é possível perceber que em parte do estado predomina a vegetação de cerrado, assim, encontrar terrenos disponíveis para a instalação de usinas desse porte também não deve ser problema, podendo, inclusive, ser instalada UFV em fazendas onde há criação de gado.



Figura 14 - Vegetação Roraima.

Fonte: Google Earth

Para não comprometer a estabilidade elétrica do sistema, é recomendado que a capacidade instalada de solar fotovoltaica não seja superior a 30% da demanda de uma localidade, estando, assim a potência máxima de 60 MW adequada para Boa Vista. Ressalta-se que o potencial solar pode ser melhor aproveitado se for realizada a instalação de usinas solar em diferentes pontos de conexão, reduzindo as variações bruscas de geração que são causadas quando da passagem de nuvens.

De maneira geral, a usina solar pode ser considerada de diferentes formas, seja um projeto exclusivamente solar, com ou sem a consideração de sistema de armazenamento, ou ainda associada a uma termelétrica contribuindo para a redução do consumo de combustível.

Além disso, a instalação de geração solar distribuída, em conjunto com sistemas de armazenamento, pode ser incentivada pelo estado como uma maneira de postergar a necessidade de ampliação do parque gerador.

III. 4 – Hidrelétricas

Ao contrário da energia solar, a utilização da força das águas pelo homem é antiga, sendo uma das fontes com menor custo. A hidroeletricidade é a principal fonte de geração para alguns países como a Noruega, onde a geração hidrelétrica responde por 99% de sua produção¹¹.

Em 2019, a capacidade instalada de geração hidrelétrica no mundo era de 1.310,3 GW, com um util crescimento de 28% nos últimos 10 anos (IRENA, 2020). No Brasil, em 2019 os empreendimentos hidrelétricos (UHE e PCH) correspondiam por 64% da capacidade instalada do SIN, com 103,94 GW, e expectativa de atingir 113 GW em 2029 (MME e EPE, 2019), o pequeno crescimento ao longo de 10 anos indica que a exploração desse recurso para a geração de eletricidade no país está atingindo o seu limite.

As usinas hidrelétricas se dividem basicamente em dois tipos: com e sem reservatório. As usinas com reservatório possuem a capacidade armazenar água no período de cheia para utilizá-la no período de seca. As usinas sem reservatório operam

¹¹ Disponível em: <https://www.irena.org/hydropower>. Acesso em: 02 de agosto de 2020.

sem interferir no fluxo do rio, sendo esse um dos motivos para que essas usinas venham a ser melhor avaliadas do ponto de vista ambiental.

As usinas reversíveis, por sua vez, são hidrelétricas com reservatórios tanto a montante quanto a jusante, onde a mesma água utilizada para gerar energia em um momento é bombeada para ser novamente utilizada, nota-se que o preço da energia para a geração de energia deve ser maior do que o preço da energia consumida durante o bombeamento para que essa usina possa ser economicamente viável.

Para determinar o potencial hidrelétrico de uma bacia hidrográfica são realizados estudos de inventário e viabilidade, estes estudos constituem uma das fases iniciais do processo de planejamento da expansão da geração¹².

O Centro de Documentação da ANEEL¹³ indica que para Roraima há um único estudo de inventário hidrelétrico, o da Bacia do Rio Branco, aprovado por meio do Despacho nº 3.785, de 19 de setembro de 2011. Esse estudo identifica quatro áreas com potencial para o aproveitamento hidrelétrico, Tabela 35.

Tabela 35 - Aproveitamentos da bacia do Rio Branco

Aproveitamento	Rio	Potência Instalada MW	Área do Reservatório km ²
Bem Querer	Rio Branco	708,4	559,1
Paredão M1	Rio Mucajáí	69,9	23,6
Paredão A	Rio Mucajáí	199,3	16,7
Fé Esperança	Rio Mucajáí	71,7	25,2

Fonte: Elaboração própria com base no Despacho ANEEL nº 3.785/2011

No entanto, EPE (2017) informa que os estudos de inventário realizados na bacia do Rio Branco não contemplaram os aproveitamentos com potência inferior a 30 MW e excluiu áreas onde estavam ocorrendo conflitos entre população indígena e proprietários rurais, assim, podem existir potenciais que não foram identificados pelo estudo.

¹² Informação disponível http://www.cepel.br/pt_br/produtos/sinv-sistema-de-inventario-hidrelettrico-de-bacias-hidrograficas.htm. Acesso em: 01 de agosto de 2020.

¹³ Consulta realizada ao Centro de Documentação da ANEEL. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/inventario_biblioteca/inventario.cfm. Acesso em: 01 de agosto de 2020.

Dos potenciais identificados no inventário da bacia do Rio Branco, somente Bem Querer consta no Plano Decenal de Expansão 2029 (MME e EPE, 2019), com potência de 650 MW e início de operação previsto para 2028.

Levando em consideração: (i) a necessidade de realizar novos estudos ou aprofundar os que já foram realizados a fim de confirmar a viabilidade técnica e econômica dos aproveitamentos; (ii) os problemas que podem surgir na etapa de licenciamento ambiental; e (iii) o tempo de construção de usinas hidrelétricas, que em alguns casos pode chegar a 5 anos, a exploração de novos potenciais hidrelétricos em Roraima não serão considerados neste estudo.

Destaca-se, contudo, que a única usina hidrelétrica em operação nos Sistemas Isolados é a PCH Alto do Jatapu com capacidade de 10 MW em São João da Baliza, Roraima. Essa usina será considerada nas simulações.

III. 5 – Resumo dos Potenciais Identificados

A Tabela 36 apresenta a conclusão deste capítulo, onde é indicado a potência máxima das usinas que podem ser instaladas por ponto de conexão, a partir dos recursos energéticos disponíveis em Roraima.

Tabela 36 - Resumo da capacidade das usinas por fonte e por ponto de conexão

Ponto de Conexão	Capacidade Ponto e Conexão (MW)	Capacidade Máxima de Conexão da Área (MW)	Biodiesel de Soja, Palma e Gordura animal (MW)	Cavaco de Madeira (MW)	PCH Alto Jatapu (MW)	Solar Fotovoltaica (MW)
Bonfim	≤ 45	≤ 45 Área Bonfim	-	-	-	
Sucuba	≤ 47	≤ 47 Área Sucuba	5	-	-	
Boa Vista	≤ 270		5	42	-	
Floresta	≤ 40	≤ 270 Área Capital	-	-	-	
Distrito	≤ 115		-	-	-	
Caracaraí	≤ 40		-	-	-	
São João da Baliza	≤ 24		-	-	10	
Novo Paraíso	≤ 38	≤ 52 Área Sul	-	-	-	Até 60 MW
Mucajáí	≤ 30		-	-	-	
Apiaú	≤ 12		-	-	-	
Iracema	≤ 13		-	-	-	
Rorainópolis	≤ 25		6	-	-	

CAPÍTULO IV – METODOLOGIA

No capítulo anterior foram identificados os recursos energéticos disponíveis na região de Boa Vista e calculada a capacidade de geração a partir desses recursos. Para obter a configuração do parque gerador híbrido que garante o atendimento à demanda - com o menor custo e com a menor emissão de CO₂ - é necessário utilizar ferramenta de otimização que permita realizar análise de viabilidade técnica e econômica nos sistemas isolados.

Assim, esse capítulo apresentará a seleção do software de otimização, bem como a escolha dos dados de entrada a serem utilizados na simulação de forma a atingir os objetivos do estudo.

IV. 1 – Ferramenta de Simulação

A avaliação técnica e econômica de geração em sistemas híbridos não é simples, sendo necessário, para tanto, utilização de ferramenta de simulação que possibilite a análise de diversas configurações simultaneamente.

CHANDEL (2014) analisou 19 softwares de simulação de energia para a otimização da geração em sistemas híbridos. Em seu estudo os softwares foram elencados seguindo critérios como: (i) os que são capazes de realizar análise técnica e econômica; (ii) os que permitem a inclusão de informações sobre recursos renováveis; (iii) os que permitem a inclusão de sistemas de armazenamento; e (iv) os que permitem a simulação de usinas de diferentes tipos - solar fotovoltaica, eólica, biomassa, hidrelétricas e termelétricas a combustível fóssil. A seguir são apresentados os quatro softwares que apresentaram melhor avaliação segundo os critérios acima estabelecidos.

O HYBRID2¹⁴ foi desenvolvido pela Universidade de Massachusetts para análise técnica e econômica de longo prazo em sistemas híbridos contemplando os recursos eólico e solar, contudo, esse software não inclui em sua simulação usinas hidráulicas e a biomassa.

¹⁴ Disponível em <https://www.umass.edu/windenergy/research/topics/tools/software/hybrid2>. Acesso em 02/05/2021.

O RETScreen¹⁵, desenvolvido pelo Ministério de Recursos Naturais do Canadá, é um programa para gerenciamento e análise técnico-financeira de projetos com energia renovável, cogeração e eficiência energética. Esse software sofreu diversas melhorias ao longo dos últimos anos e atualmente é um dos mais completos e amigáveis. Apesar de ser utilizado para a análise de sistemas híbridos, o RETScreen apresenta resultados mais satisfatórios para análises financeiras contemplando fonte única de energia, isso ocorre porque o programa é baseado em Excel e não suporta cálculos avançados (Lee-Jones, 2016).

O iHOGA¹⁶ é um software de otimização desenvolvido pela Universidade de Zaragoza, Espanha, que assim como o RETScreen sofreu diversas melhorias nos últimos anos, passando a incluir análise de sensibilidade, de probabilidade e de net-metering. Suas principais desvantagens, contudo, estão no fato de não apresentar interface amigável e demandar longo tempo para a realização das simulações (SAIPRASAD *et al.*, 2018).

Dos softwares analisados por CHANDEL (2014), o Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER) foi o que se mostrou mais completo. Ele é capaz de realizar simulação de otimização para sistemas híbridos de forma ágil, com a consideração de diferentes recursos energéticos e apresentação de resultados técnicos e econômicos em uma plataforma amigável. Diante das considerações apresentadas, entende-se que o HOMER pode ser a ferramenta ideal para a realização de simulações envolvendo o sistema isolado brasileiro.

Segundo LAMBERT *et al.* (2006), a flexibilidade e as técnicas de otimização do HOMER aumentam a robustez dos estudos com ele realizados.

O HOMER foi desenvolvido pela National Renewable Energy Laboratory (NREL) podendo ser utilizado tanto para simulações on-, quanto off-grid. Importante salientar que o programa não realiza verificações dos parâmetros elétricos da rede.

Um software de otimização que é capaz de contornar esse problema é o PLEXOS¹⁷, uma sofisticada ferramenta de análise que pode ser utilizada, dentre outras coisas, para simular o despacho e expansão de um parque gerador híbrido, permitindo a

¹⁵ Disponível em: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>. Acesso em 02/05/2021

¹⁶ Disponível em <https://ihoga.unizar.es/>. Acesso em 02/05/2021.

¹⁷ Disponível em <https://energyexemplar.com/>. Acesso em 05/05/2021.

inclusão das restrições do sistema de transmissão (SAPORTA, 2017). Contudo, tal modelagem exige um maior detalhamento do sistema sob análise.

Por simplificação, por se tratar de conexão entre localidades isoladas onde se busca identificar a configuração do parque gerador capaz de otimizar os recursos energéticos da região, o estudo considerará somente as restrições impostas pelas margens de escoamento de cada barramento, conforme apresentado no capítulo anterior, ou seja, as condições elétricas da rede durante o despacho, tais como nível de tensão e frequência da rede, não serão consideradas na simulação.

Dessa forma, entende-se que não é preciso adotar ferramenta com a complexidade do PLEXOS, sendo o software HOMER suficiente para a presente análise.

A seguir são apresentados alguns estudos realizados com o HOMER para avaliação do atendimento a localidades isoladas por meio sistemas híbridos de geração.

REHMAN *et al.* (2010) utilizaram o HOMER para avaliar a substituição de uma geração puramente diesel por geração híbrida – composta por usina solar fotovoltaica, termelétrica diesel e com sistema de armazenamento a bateria - em uma localidade isolada no interior da Arábia Saudita. Como resultado, concluiu-se que a geração híbrida é mais econômica por reduzir o consumo de diesel e não compromete o atendimento à carga.

KUMARAVEL e ASHOK (2012) utilizaram o HOMER para conduzir avaliação do atendimento a uma região isolada na Índia por meio de um sistema híbrido contendo usina solar, a biomassa e uma pequena central hidrelétrica.

Outro estudo utilizando o HOMER foi realizado por DURSUN *et al.* (2013) para avaliar a viabilidade de utilização das fontes solar e eólica em uma região remota na Turquia. Esse estudo mostrou que além da redução do custo de geração, a introdução de recursos renováveis também promoveria a redução de emissão de carbono.

Já LOMBARDI *et al.* (2016) utilizaram o HOMER para elaborar o planejamento de um sistema isolado na Sibéria com o uso de energia renovável e sistemas de armazenamento. Como resultado, observaram a viabilidade técnica e econômica do atendimento à carga a partir dos recursos renováveis, assim como a redução das emissões.

Esses são alguns exemplos de estudos realizados com o HOMER para a avaliação de geração híbrida em localidades remotas em diferentes partes do mundo, evidenciando a consolidação do HOMER como software para a simulação de geração a partir de diferentes recursos energéticos em sistemas isolados.

Dessa forma, conclui-se que o HOMER é adequado para ser utilizado nas simulações dos sistemas isolados brasileiros, sendo a ferramenta que será utilizada nesse estudo a fim de avaliar a viabilidade econômica da substituição de geração a diesel por fontes renováveis na região de Boa Vista.

IV. 2 – Seleção dos Dados de Entrada

O HOMER apresenta como característica:

- A possibilidade de simular o desempenho de diversas configurações simultaneamente;
- Permite que o usuário insira as informações técnicas e os custos dos componentes que serão utilizados na simulação, tais como os valores dos recursos energéticos, ou, se preferir, o usuário pode selecionar os dados a partir do banco de dados disponível no programa;
- Os valores dos recursos energéticos e da carga do sistema podem ser inseridos em diferentes níveis de discretização, sendo permitido até mesmo apresentação de dados com intervalo de apenas 1 minuto;
- Com a análise de sensibilidade é permitido que o usuário inclua diferentes valores para uma mesma variável, como por exemplo, diferentes custos para um combustível; e
- Com a análise multi-year é possível avaliar o desempenho da “solução ótima” ao longo dos anos.

O estudo utiliza a versão HOMER Pro 3.14.2 para as simulações.

Além de uma boa ferramenta de análise, para que o resultado da simulação seja próximo ao que se espera observar na vida real, é importante que sejam especificados adequadamente os detalhes técnicos de cada gerador, bem como o valor da carga e os recursos energéticos. ARRIBAS *et al.* (2011) indicam que a precisão dos resultados

depende da ferramenta de análise, da qualidade dos dados de entrada e do conhecimento técnico do analista.

IV. 2.1 – Carga

Ao planejar o atendimento a um sistema isolado, uma das primeiras coisas que se deve obter é a previsão de crescimento do mercado consumidor desta localidade. Para os Sistemas Isolados a Portaria MME nº 67/2018 estabelece, dentre outras coisas, que todo ano as distribuidoras devem submeter o planejamento do atendimento de suas localidades para aprovação do MME por meio da EPE, e esta, por sua vez, publica periodicamente o Relatório de Planejamento do Atendimento aos Sistemas isolados - com horizonte de 5 anos.

Levando em consideração que o tempo para a implantação de uma usina é de 18 a 60 meses, a depender da tecnologia, e que a Portaria de Diretrizes dos Leilões dos Sistemas Isolados de 2021, nº 341/2020, prevê prazo de 24 meses para a entrada em operação das usinas contratadas no referido leilão, o estudo irá considerar o ano de 2023 para a entrada em operação das novas usinas com escala suficiente para atender a demanda prevista para o 5º ano, 2027, conforme metodologia adotada para a contratação dos leilões de energia nos sistemas isolados.

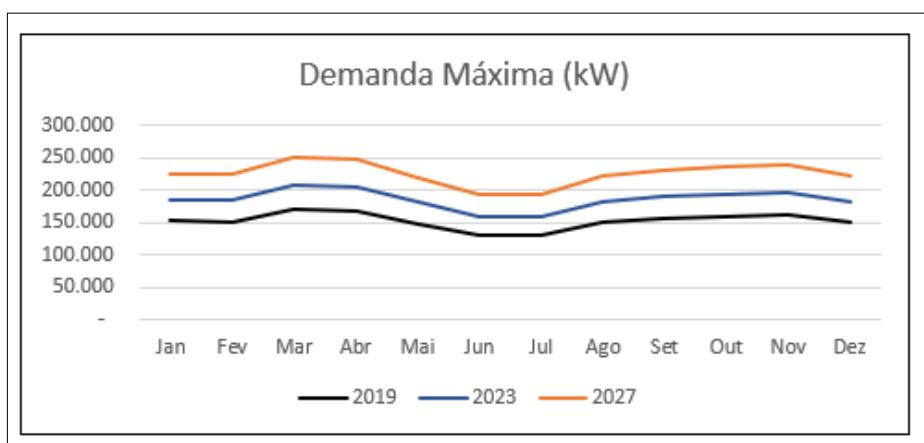


Figura 15 – Curva de carga verificada em 2019 e projetada para 2023 e 2027.

Fonte: Elaboração própria

Dentre as informações que a distribuidora apresenta para a EPE em seu planejamento, constam os valores da curva de carga em base horária e a previsão de crescimento anual de seu mercado consumidor. Assim, a partir da curva de carga apresentada pela distribuidora Roraima Energia para Boa Vista no ciclo 2020 – valores referentes a 2019 – junto com a taxa de crescimento médio anual observado para essa localidade, informado pela distribuidora como sendo de 5% ao ano, foram calculados fatores de ajuste de 1,2155 e 1,4775 para 2023 e 2027, respectivamente, em relação à carga de 2019, resultando em demanda máxima de potência de 207 MW e carga média de 3.325 MWh/dia, para 2023 e de 252 MW e 4.041 MWh/dia, para 2027. As curvas de carga são apresentadas na Figura 15.

Com a simulação para esses dois anos, será possível verificar se a maior demanda tende a alterar a configuração ótima do parque gerador a ser instalado, espera-se com isso avaliar se a consideração de um horizonte mais longo para o planejamento, e, consequentemente, uma maior demanda contratada, pode ser mais favorável para a inserção de fontes renováveis nos leilões de energia dos sistemas isolados.

IV. 2.2 – Recursos Energéticos

Além da carga da localidade, o HOMER também precisa ser alimentado com as informações dos recursos energéticos. O estudo precisará apenas das informações de irradiação solar para Boa Vista e da vazão do rio Jatapu, pois o cálculo da capacidade instalada das usinas termelétricas a biomassa e biodiesel levou em consideração produção contínua ao longo do ano, não sendo, assim, necessário inserir no HOMER as informações da safra da biomassa.

O Atlas solarimétrico apresenta valor de GHI variando de 4,25 a 5,50 kWh/m².dia em Roraima, porém no mesmo não constam os valores horários ao longo do ano. O HOMER apresenta conexão com a base da NASA, possibilitando a utilização desses valores pelo usuário, para Boa Vista o valor de GHI anual médio é de 5,0 kWh/m².dia, bem próximo ao valor estimado pelo Atlas. Assim, para o recurso solar foram utilizadas as informações disponibilizadas pela NASA, obtidas diretamente no HOMER.

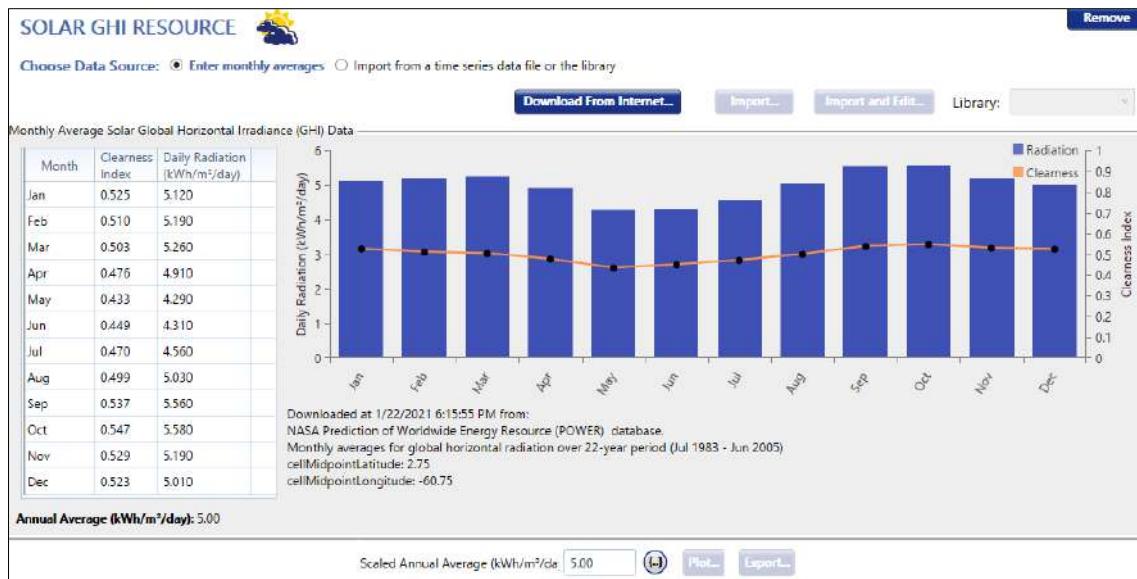


Figura 16 - GHI em Boa Vista.

Fonte: NASA.

Já para o recurso hidráulico foram utilizadas as vazões médias mensais de longo termo, que constam nos estudos da bacia do rio Jatapu, com média de 53 m³/s.

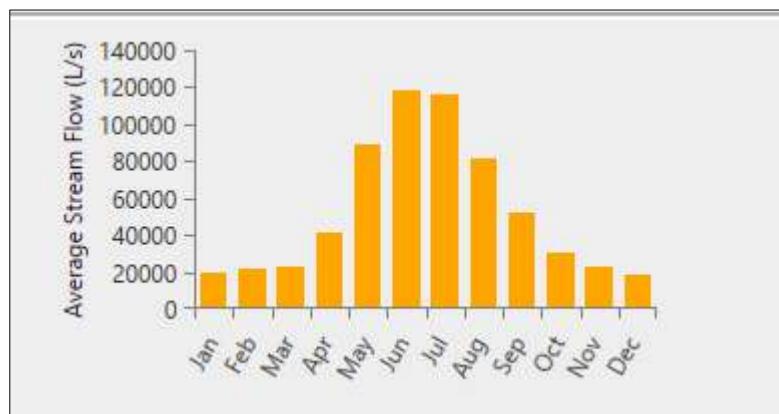


Figura 17 – Vazão do rio Jatapu.

Fonte: estudos de inventário da bacia

IV. 2.3 – Informações Técnicas e Econômicas

IV. 2.3.1 – Usinas Termelétricas

Devido ao grande porte das usinas termelétricas, as informações serão inseridas no HOMER considerando o conjunto das unidades geradoras e não a modelagem individual de cada máquina.

Para as usinas a cavaco de madeira, que operam em ciclo Rankine, será considerado que essas usinas são inflexíveis e que quando em operação irão operar na base, ou seja, essas usinas não farão a modulação da carga, ficando essa função para as usinas com combustível líquido, que possuem tecnologia mais adequada para essa função. A capacidade de processamento das usinas a cavaco de madeira, foi calculada a partir da quantidade de madeira e de resíduo disponível para garantir geração contínua ao longo do ano.

Já para as usinas que utilizam combustível líquido, o consumo específico foi obtido a partir do Anexo I da Resolução Normativa ANEEL n.º 801/2017, com valor variando de 0,289 a 0,283 litros/kWh a depender do tamanho da usina.

Para as usinas a biodiesel, foram simuladas usinas com diferentes tamanhos, limitado ao valor da capacidade máxima calculada no capítulo anterior, com esse escalonamento pretende-se avaliar se o custo do combustível comporta a instalação de usina de maior ou de menor porte.

O custo dos combustíveis foi obtido a partir de diferentes fontes, para o óleo diesel foi utilizado o preço médio de distribuição em Boa Vista para agosto/2020, conforme valor publicado pela ANP¹⁸ - R\$ 3,064/litro, após essa data foi identificado crescimento atípico para o preço do combustível influenciado pela pandemia de covid. Para o biodiesel foi considerado o preço médio resultante dos leilões de biodiesel com entrega para 2020 na Região Norte – Editais 70º ao 76º - realizados pela ANP¹⁹ - R\$ 4,119/litro.

O custo de aquisição da tora e dos resíduos de madeira provenientes de serraria foram obtidos dos dados de Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura do IBGE para

¹⁸ Disponível em <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/precos-de-produtores-e-importadores-de-derivados-de-petroleo>. Acesso em 09 de maio de 2021.

¹⁹ Disponível em <http://www.anp.gov.br/distribuicao-e-revenda/leiloes-de-biodiesel/leiloes-de-biodiesel-interna?view=default>. Acesso em 22 de fevereiro de 2021.

Roraima, PEVS 2019²⁰, tendo sido considerado valor de R\$ 0,073/kg para o resíduo de serraria e de R\$ 0,346/kg de tora.

Devido à variação dos custos dos combustíveis, foi realizado análise de sensibilidade a fim de verificar como a alteração no preço dos combustíveis pode impactar o resultado do estudo.

Dessa forma, para o diesel foi considerada a variação média mensal verificada para o período de janeiro/2013 a dezembro/2020, que é de 0,5% - R\$ 3,079/litro, além disso será avaliado o impacto que uma alta mais acentuada, como a observada para o período de novembro/2020 a março/2021 pode ocasionar nos resultados, variação média mensal de 5% - R\$ 3,217/litro.

Para o biodiesel foi considerado aumento de 4%, correspondente à variação média dos resultados dos leilões com entrega prevista entre janeiro/2019 e junho/2021 - R\$ 4,284/litro; e 10%, referente à variação nos preços dos leilões com entrega para 2020 - R\$ 4,531/litro. Além disso, para o biodiesel de palma, como a produção do óleo ocorre integralmente em fazenda na região, eliminando a necessidade de transporte desse combustível, foi considerado redução de 20% no seu preço em relação ao preço de leilão – R\$ 3,295/litro.

Em relação aos custos de instalação e operação, para as usinas que operam com ciclo Rankine, cavaco de madeira, foi considerada a aquisição de máquinas novas por R\$ 5.000/kW e com custo de operação e manutenção (O&M) de R\$ 100/MWh, já para as usinas que operam com combustível líquido, foi adotado custo de instalação de R\$ 4.000/kW e O&M de R\$ 50/MWh, essa diferença se deve à maior complexidade de operação das usinas a ciclo Rankine, bem como ao maior número de equipamentos, incluindo caldeira em sua relação. Cabe destacar que esses valores foram obtidos com base no banco de dados dos projetos cadastrados para os leilões de geração, que apresentam características semelhantes às máquinas pensadas para a simulação.

Cabe destacar que para a usina a diesel foram realizadas duas simulações, na primeira foram conservadas as máquinas já existentes na localidade, sem que haja a necessidade de aquisição de novas unidades geradoras ou a substituição dessas durante o

²⁰ Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2019>. Acesso em 24 de maio de 2021.

período de análise; e na segunda foi considerada a substituição de todas as máquinas diesel por máquinas novas a partir de 2023, ou seja, no primeiro caso, o custo de instalação do parque diesel é nulo. Para os dois casos o custo de operação e manutenção foi considerado R\$ 50/MWh, mesmo sabendo que usina mais antiga pode demandar maior investimento para a sua conservação. Como pode ser visto no item V.1, essa consideração não favorece as usinas a diesel, uma vez que as opções mais econômicas são as que utilizam em sua configuração a usina a diesel de menor capacidade possível.

IV. 2.3.2 – Usina Solar Fotovoltaica e Sistema de Armazenamento

Para a simulação da UFV foram consideradas usinas com capacidade de 20 MW, 40 MW e 60 MW, isso foi feito para que o HOMER avalie a capacidade da usina que melhor se adequa ao sistema.

Além da usina solar, foi adicionado ao sistema um conjunto de baterias com capacidade variando de 2 MW/8MWh a 12 MW/24MWh, ou seja, com fornecimento de energia por até 4 horas de operação, com isso, espera-se que o sistema de armazenamento possa atuar como supridor de energia, reduzindo o despacho da usina a diesel. A simulação com baterias de diferentes tamanhos permitirá ao HOMER selecionar a melhor configuração.

Para esse sistema foi considerado custo de instalação de R\$ 2.100/kWh²¹, considerando câmbio de dezembro de 2020 e os custos de importação, para o custo de operação e manutenção, foi considerado que o período da está coberto via contrato, não incorrendo em custos adicionais, além disso, não foi considerada a necessidade de substituição das baterias para o período da análise.

Foi solicitado que o HOMER realizasse as simulações com e sem considerar a UFV e o sistema de armazenamento.

²¹ Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>. Acesso em 17 de maio de 2021.

IV. 2.3.3 – Usina PCH

A usina PCH Alto Jatapu foi inaugurada em 1994, tendo sua capacidade elevada para 10 MW em 2018. A usina será inserida na simulação sem que haja a necessidade de substituição das unidades geradoras nos próximos anos, sendo considerado somente o seu custo anual de operação e manutenção - R\$ 50.000/MW.

IV. 3 – Resumo dos dados de Entrada da Simulação

A tabela abaixo apresenta o resumo dos dados inseridos no HOMER para a realização das simulações de otimização e análise de sensibilidade.

Tabela 37 - Dados de Entrada - HOMER

Tecnologia	Capacidade Considerada	Investimento*		O&M*		Vida Útil	Custo Combustível	Sensibilidade
	(MW)	(R\$/kW)	(R\$/kWh)	(R\$/MWh)	(R\$/MW/ano)	(anos)	R\$/kg ou R\$/litro	Custo Combustível
Cavaco de Madeira - Serraria	4	5.000	-	100	-	20	0,073	5%
Cavaco de Madeira - Tora	38	5.000	-	100	-	20	0,346	5%
Biodiesel - Soja + Gordura	2.5 / 5 / 7.5 / 10	4.000	-	50	-	20	4,119	4% e 10%
Biodiesel - Palma	2 / 3 / 6	4.000	-	50	-	20	4,119	-20% / 4% / 10%
Diesel	150 / 175 / 200 / 250	0 / 4.000	-	50	-	20	3,064	0,5 e 5%
UFV	20 / 40 / 60	8.000	-	-	50.000	25	-	-
Baterias	2 / 4 / 8 / 12 4 horas	-	2.100	-	-	10	-	-
PCH	10	-	-	-	50.000	30	-	-

* Valor Referente a dezembro de 2020.

CAPÍTULO V – SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

V. 1 – Simulação de Otimização

A primeira simulação foi realizada a fim de observar quais configurações seriam capazes de atender a demanda com o menor custo de energia para o ano de 2023 - ano considerado para o início da operação. As configurações foram ordenadas pelo menor custo nivelado de energia, o *levelized cost of energy*, que o HOMER chama de COE. Entende-se que, dentre as opções oferecidas pelo HOMER, essa é a melhor base de comparação tanto do ponto de vista do consumidor, como para quem planeja o sistema.

Como pode ser observado na tabela abaixo, as primeiras configurações são ocupadas pela usina solar fotovoltaica, sempre com a maior potência disponível (60 MW); pela geração a biomassa de madeira, totalizando 42MW; pela usina a diesel de 150 MW e pela PCH com 10 MW; a diferença entre as sete primeiras configurações fica por conta da configuração das usinas a biodiesel e pela inclusão ou não do sistema de armazenamento, sempre com a menor configuração disponível - 2 MW/4 horas.

Nota-se que as usinas a biodiesel e o sistema de armazenamento se complementam, quando a capacidade das UTEs a biodiesel é baixa as baterias são inseridas na configuração, por sua vez, essas são retiradas da configuração quando o somatório das potências das usinas a biodiesel aumenta. Sem as usinas a biodiesel e sem o sistema de armazenamento o que se observa é o aumento da potência da usina a óleo diesel, passando para 175 MW na configuração de número 10.

Tabela 38 - Configurações por ordem de menor COE

ID	PV (kW)	BIO-Cav-Serraria (kW)	BIO-Cav-Tora (kW)	BIO-Soja (kW)	BIO-Palma (kW)	Diesel (kW)	Bateria (MW)	PCH (kW)	COE (R\$/kWh)
1	60.000	4.000	38.000			150.000	2	10.000	0,746
2	60.000	4.000	38.000	2.500	3.000	150.000		10.000	0,746
3	60.000	4.000	38.000		6.000	150.000		10.000	0,746
4	60.000	4.000	38.000		2.000	150.000	2	10.000	0,746
5	60.000	4.000	38.000	2.500		150.000	2	10.000	0,747
6	60.000	4.000	38.000	7.500		150.000		10.000	0,747
7	60.000	4.000	38.000	2.500	2.000	150.000	2	10.000	0,747
8		4.000	38.000			150.000	2	10.000	0,749
9		4.000	38.000		2.000	150.000	2	10.000	0,750
10	60.000	4.000	38.000			175.000		10.000	0,750

Para todas as configurações, não só para as primeiras, a melhor estratégia de despacho identificada pelo HOMER é a *Cycle Charging* (CC), nela o HOMER atende a carga primária despachando a capacidade máxima dos geradores e o excesso é usado para abastecer o sistema de armazenamento, quando existente, importante destacar que na ausência deste, ou quando a carga está abaixo da capacidade máxima, o HOMER não produz excesso de energia, ou seja, ele tende a otimizar o despacho das máquinas, mas quando necessário, ele reduz a capacidade de geração para realizar a modulação de carga.

Analizando os arranjos, observa-se que os sete primeiros, todos com a usina solar em sua configuração, apresentam valor similar para o custo de instalação, com diferença máxima de 2,5%, ou R\$ 18 milhões, entre as opções. Para esses arranjos, o valor do custo de O&M fica em torno de 1,2% do custo do investimento.

Para o custo da energia a diferença é ainda menor, chegando a no máximo 0,24% para as sete primeiras configurações, indicando que, do ponto de vista do COE, essas configurações são equivalentes, sendo indiferente a escolha entre uma ou outra. Em relação ao valor das emissões, a diferença máxima observada é de 0,01%, não sendo este um fator determinante para a seleção ou descarte de uma dessas opções.

Por outro lado, para os arranjos em que as baterias são adicionadas estas são utilizadas com autonomia de apenas 15 minutos e 66 MWh/ano, a utilização do sistema de armazenamento como supridor de potência diverge de sua configuração original, tal operação pode contribuir para reduzir sua vida útil e aumentar o custo das soluções para as quais o sistema de armazenamento for considerado.

V. 1.1 – Comparação da Otimização para os anos de 2023 e 2027

A mesma simulação foi realizada para o ano de 2027, quinto ano de operação, a fim de verificar se a maior demanda influenciaria na seleção das melhores configurações.

Observa-se, no entanto, que o aumento da carga não foi responsável por modificar a ordem das melhores configurações, não ampliou a capacidade instalada das usinas a biodiesel ou nem introduziu mais baterias nos arranjos, o aumento da carga foi compensado com a ampliação da capacidade instalada da usina a diesel.

Assim, a análise de sensibilidade será efetuada considerando a demanda de 2023, ano considerado para a contratação de demanda do leilão de 2019, o que permitirá a comparação da simulação com o resultado obtido via processo licitatório.

V. 2 – Análise de Sensibilidade

A fim de avaliar o impacto que as variáveis apresentam no custo e, consequentemente, na escolha das configurações, foram realizadas análises de sensibilidade. Essas análises levaram em consideração: (i) a alteração nos custos dos combustíveis; (ii) a substituição de todo parque gerador diesel por máquinas novas; e (iii) a elevação da taxa de desconto.

V. 2.1 – Elevação de 5% no custo da biomassa de madeira

A elevação do custo da biomassa de madeira em 5% não provocou alteração na ordem das sete primeiras configurações, contudo foi observado alta de 0,62% no preço da energia, passando de R\$ 0,7466 para R\$ 0,7512/kWh – custo médio das primeiras configurações. O aumento do preço desse combustível também não reduziu a quantidade de energia produzida nas UTEs a cavaco de madeira.

Ou seja, elevar o preço da madeira não provocou alteração no parque gerador instalado, nem no despacho das usinas, sendo o custo do combustível refletido somente no aumento do custo da energia.

V. 2.2 – Elevação de 4% e 10% no preço do biodiesel

Devido à baixa produção de energia a partir das UTEs a biodiesel, a elevação de 4% e 10% no preço desse combustível não provocou nenhum impacto nos resultados, nem mesmo alterou o custo da energia.

V. 2.3 – Redução de 20% no preço do biodiesel de palma

Como a palma é um combustível produzido em fazendas locais, existe a possibilidade de haver redução no valor do preço considerado, uma vez que a logística do transporte até Boa Vista é eliminada, assim como a aquisição do biodiesel de outros fornecedores. Desta forma, foi analisado o impacto que o menor custo desse combustível provoca nos resultados.

Com a simulação é possível observar que nas alternativas em que as usinas a biodiesel de soja e de palma coexistem, configurações 2 e 7, há redução de 57% e 40%, respectivamente, na produção de energia da UTE a biodiesel de soja, sendo essa produção deslocada pelo biodiesel de palma, tal variação foi responsável por dobrar a geração da UTE a biodiesel de palma na configuração 2 e a quintuplicar a produção de energia na configuração 7. Indicando, assim, que a geração a partir de uma fonte mais barata de biodiesel, pode ser mais vantajosa do que a instalação e operação de várias usinas com biodiesel distintos. A redução no preço do biodiesel de palma foi responsável por nenhuma outra alteração.

V. 2.4 – Elevação de 0,5% e 5% no preço do óleo diesel

Ao elevar em 0,5% o custo do óleo diesel, a ordem das melhores configurações se mantém, o único impacto é o aumento de 0,34% no custo da energia, passando de R\$ 0,7466 para R\$ 0,7491/kWh – custo médio das primeiras configurações.

Para o diesel 5% mais caro, também não houve alteração na configuração dos primeiros arranjos. O COE sofreu aumento de 3,4%, alcançando média de R\$ 0,7721/kWh. Nessa situação foi observado aumento na produção de energia a partir das usinas a biodiesel, indicando que, em um cenário de baixa do preço do biodiesel e de alta no preço do diesel, ter usinas que utilizam o biodiesel pode ser fundamental para atingir a eficiência econômica nos sistemas isolados, como prevê o Decreto nº 7.246/2010.

V. 2.5 – Contratação de UTEs novas a óleo diesel

Substituir o parque gerador diesel existente por máquinas novas, obviamente, aumenta o custo de investimento e este é refletido no preço da energia, que se eleva em 8%, alcançando R\$ 0,8055/kWh. Não sendo observada nenhuma outra alteração.

Assim, incluir a obrigatoriedade da substituição do parque gerador diesel em uma localidade isolada, quando da contratação de um Produtor Independente de Energia (PIE) via leilão, pode reduzir os benefícios dessa contratação.

V. 2.6 – Taxa de desconto de 12%

A taxa de desconto representa o retorno que o empreendedor espera ter com o investimento. Ao elevar essa taxa de 8% para 12% observa-se impacto direto nos arranjos com a retirada da UFV dos arranjos, o que faz sentido, uma vez que essas usinas apresentam elevado CAPEX e demandam mais tempo para que o empreendedor obtenha o retorno do capital investido.

A Tabela 39 apresenta os arranjos com o menor COE dessa simulação, nela é possível observar que, para as sete primeiras configurações, a usina solar está presente em apenas um arranjo e com a menor potência considerada no projeto - 20MW.

Tabela 39 - Resultado da simulação com taxa de desconto de 12%

ID	PV (kW)	BIO-Cav-Serraria (kW)	BIO-Cav-Tora (kW)	BIO-Soja (kW)	BIO-Palma (kW)	Diesel (kW)	Bateria (MW)	PCH (kW)	COE (R\$/kWh)
1	4.000	38.000				150.000	2	10.000	0,754
2	4.000	38.000	5.000	2.000		150.000		10.000	0,755
3	20.000	4.000	38.000			150.000	2	10.000	0,756
4	4.000	38.000		2.000		150.000	2	10.000	0,755
5	4.000	38.000	2.500			150.000	2	10.000	0,755
6	4.000	38.000	7.500			150.000		10.000	0,756
7	4.000	38.000	2.500	2.000		150.000	2	10.000	0,756
8	20.000	4.000	38.000		6.000	150.000		10.000	0,757
9	20.000	4.000	38.000		2.000	150.000	2	10.000	0,757
10	20.000	4.000	38.000	2.500		150.000	2	10.000	0,757

Importante observar que, retirar a UFV do arranjo não aumenta a capacidade instalada da usina a diesel. Em relação biodiesel, as configurações de número 4 e 6, Tabela 39, apresentam diferenças quando comparadas com o resultado da simulação original, configurações 2 e 3 da Tabela 38, respectivamente, a configuração 4 contorna a ausência de UFV com o aumento da capacidade instalada das usinas a biodiesel, de 5,5 MW para 7 MW, já a configuração 6 substitui as usinas a biodiesel pela usina solar de 20 MW e bateria. Para as demais configurações, a produção de energia a partir do biodiesel aumenta em torno de 20%.

Com essas alterações o COE sofre um aumento de 1,16%, com valor médio de R\$ 0,7552/kWh para as sete primeiras configurações. Além disso, é observado aumento de cerca de 10% nas emissões de CO₂, devido à maior produção de energia a partir da UTE a óleo diesel.

Nota-se que, soluções de suprimento com elevada taxa de desconto vão de encontro aos objetivos estabelecidos no Decreto 7.246/2010 para os sistemas isolados, uma vez que reduz a atratividade para usinas com alto CAPEX, como a solar fotovoltaica, contribui para o aumento das emissões e eleva o custo de geração. Uma maneira de contornar esse problema é aumentar prazo de contratação, o que, por sua vez, contribuirá para a redução da taxa de desconto por parte do empreendedor.

V. 3 – Escolha da Configuração Ótima

Como visto anteriormente no item V.1, as sete primeiras configurações, apesar das diferenças observadas em seus arranjos, apresentam valores próximos de COE.

Todas as opções apresentam UTE a biomassa de madeira, totalizando 42MW, e UFV com 60MW, porém nem todas consideram o sistema de armazenamento e há diferenças quanto à capacidade das usinas a biodiesel consideradas.

Nas configurações com bateria, esta aparece com a capacidade mínima inserida na simulação, 2MW, e com autonomia de apenas 15 minutos, o que pode contribuir para reduzir a sua vida útil e elevar os custos da solução, por isso, os arranjos que apresentam sistema de armazenamento em sua composição não serão considerados para a configuração ótima.

Desta forma, as usinas a biodiesel serão o fator decisivo para a escolha da melhor configuração, destaca-se que, para as sete primeiras configurações, a produção de energia a partir das usinas a biodiesel é praticamente a mesma, a depender apenas da consideração ao não do sistema de armazenamento.

Como visto nos itens V.1.1 e V.2.3, a capacidade instalada das usinas não é influenciada pelo aumento da demanda da localidade e que o biodiesel com possibilidade de apresentar menor custo é preferível aos demais, assim, considerando que o biodiesel de palma poderá ser totalmente produzido em fazenda na região de Rorainópolis, o que elimina a complexa logística do transporte do combustível e a necessidade de adquirir o biodiesel de outro fornecedor, como é o caso da soja e da gordura animal, será considerada como “configuração ótima” a que adota, dentre as usinas a biodiesel, apenas a usina a biodiesel de palma.

Desta forma, optou-se por seguir a análise com a configuração de número 3, mostrada na Tabela 38, que apresenta UFV de 60 MW; UTE a biomassa de madeira no total de 42 MW; UTE a biodiesel de palma de 6MW; UTE a diesel de 150 MW e PCH de 10 MW, com COE de R\$ 0,7466/kWh e 0,485 MtCO₂eq/ano de emissão – configuração para a demanda de 2023.

Importante destacar que o diesel utilizado para a geração virá de Manaus, capital do Amazonas, distante 750 km de Boa Vista. Assim, deve ser avaliado o acréscimo de emissão de CO₂ devido ao transporte do combustível para a geração de energia em Boa Vista.

Considerando que cada caminhão tanque tem capacidade para transportar 25.000 litros de combustível, para o suprimento a Boa Vista seriam necessários 8.103 caminhões/ano.

Utilizando os valores apresentados por NOVO (2016), temos que veículos pesados, transportando combustível de Manaus para Boa Vista, apresentam eficiência de 3,68 km/litro, enquanto veículos leves, retornando para Manaus, apresentam eficiência de 6,06 km/litro. Considerando que: 1 m³ de diesel apresenta 0,848 tep, que é equivalente a 0,04187 TJ; que 1 TJ de óleo diesel possui 20,3 toneladas de carbono; e que, por sua vez, há 44 toneladas de CO₂eq para cada 12 toneladas de carbono, obtemos o total de 7

mil toneladas de CO₂eq devido ao transporte rodoviário do óleo diesel, elevando para 0,492 MtCO₂eq/ano a emissão da solução ótima.

Sabendo da possibilidade de criação de um mercado para comercialização do carbono, com base em informações da OCDE (2021), que especifica as emissões brasileiras em 0,58 Euros por tonelada de CO₂, é possível valorar em R\$ 1,82 milhões, considerando câmbio de dezembro de 2020, o resultado obtido com a simulação para a solução ótima.

V. 4 – Comparaçāo da Configuração Ótima com a Configuração Atual

Até a entrada das usinas contratadas no Leilão dos Sistemas Isolados de 2019, o parque gerador do sistema Boa Vista será composto por usinas a diesel e pela PCH Alto Jatapu, tal configuração ocupa a posição de número 89 nos resultados da simulação.

Comparando o resultado do arranjo escolhido como ótimo (3), com o arranjo atual UTE diesel - PCH (89), para o ano de 2023, nota-se que a configuração atual apresenta custo de energia 17,71% superior ao da configuração ótima, R\$ 0,8787/kWh, esse valor sobe para R\$ 0,9200/kWh no cenário com o diesel 5% mais caro.

Com a energia sendo gerada majoritariamente por meio de usinas a diesel, o consumo desse combustível cresce 62% na comparação com a solução ótima, atingindo valor superior a 327,8 milhões de litros por ano, como consequência, a emissão cresce na mesma proporção chegando a 0,780 MtCO₂eq.

Esse resultado mostra a importância da contratação de geração que utilize recursos renováveis nos sistemas isolados, isto é, os leilões de energia devem buscar formas de incentivar a substituição da geração a diesel, podendo até mesmo realizar leilões específicos para fontes renováveis.

Em relação às emissões devido ao transporte do combustível, como já era esperado, o número de caminhões necessários para o transporte do combustível aumenta para 13.113/ano, e com isso as emissões resultantes desse transporte saltam para 11,35 mil toneladas de CO₂eq, totalizando 0,792 MtCO₂eq, contra 0,492 MtCO₂eq/ano da solução ótima.

Considerando a precificação do carbono, como indicado no item V.3, estima-se valor de R\$ 2,93 milhões para a emissão da configuração atual, ou seja, implementar solução que reduza o nível de emissões em Boa Vista, poderia significar ganho superior a R\$ 1 milhão por ano no mercado de carbono.

V. 5 – Comparação da Configuração Ótima com a Configuração Contratada no Leilão de Boa Vista

A seguir será analisado se o Leilão de Boa Vista atingiu o objetivo de contratar usinas que utilizam os recursos energéticos locais, reduzindo não só o custo da energia, mas também o nível de emissões.

V. 5.1 – Resultado do Leilão

O Leilão para suprimento a Boa Vista e demais localidades a ela conectadas, realizado em maio de 2019, obteve como resultado a contratação de uma usina a diesel com disponibilidade de potência de 38,17 MW; quatro usinas UTE a cavaco de madeira com potência total de 32,65 MW; uma usina somente a biodiesel com potência de 10,98 MW; uma usina utilizando biocombustível e biomassa, com 13,31 MW; uma usina com biocombustível e solar, com disponibilidade de potência de 51,42 MW; e uma usina a gás natural de 117,04 MW, Tabela 40.

Observa-se que a contratação proveniente do leilão se assemelha ao que foi visto ao longo desse estudo em relação às de fontes contratadas, com exceção do gás natural, uma vez que esse é proveniente do estado do Amazonas.

Tabela 40 - Resultado Leilão de Boa Vista de 2019

Produto Potência - Demais Fontes						
Solução de Suprimento	Barramento Candidato	Fonte	Valor Investimento (R\$)	Disp. Potência (MW)	Energia inflex. (MWm)	Preço Ref. (R\$/MWh)
Monte Cristo Sucuba	Sucuba-69	Óleo Diesel	126.983.750	38,12	-	1.059,17

Produto Potência - Gás e Renováveis						
Solução de Suprimento	Barramento Candidato	Fonte	Valor Investimento* (R\$)	Disp. Potência (MW)	Energia inflex. (MWm)	Preço Ref. (R\$/MWh)
Jaguatirica II	Boa Vista-230	Gás Natural	425.410.800	117,04	-	798,17
BBF Baliza	Sao Joao da Baliza-69	Biocombustível + Biomassa	97.416.022	13,31	6,66	670,00
Híbrido Forte de São Joaquim	Boa Vista-69	Biocombustível + Solar	537.759.883	51,42	25,71	825,00
Palmaplan Energia 2	Rorainopolis-34,5	Biocombustível	70.355.713	10,98	-	820,67
Bonfim	Bonfim-69	Cavaco/Resíduo de Madeira	98.600.000	8,16	4,08	800,00
Canta	Bonfim-69	Cavaco/Resíduo de Madeira	113.500.000	8,16	4,08	800,00
Pau Rainha	Boa Vista-69	Cavaco/Resíduo de Madeira	76.500.000	8,16	4,08	754,00
Santa Luz	BOA VISTA-69	Cavaco/Resíduo de Madeira	76.500.000	8,16	4,08	754,00

Fonte: CCEE²²

* Valor Referente a novembro de 2018.

O leilão de Boa Vista foi projetado para ser realizado em duas etapas, Portaria MME n.º 512/2018, na primeira etapa, cujo resultado é mostrado na figura acima, foi contratado o produto potência, sendo esse desenhado para garantir modulação de carga e flexibilidade de operação ao sistema, representado basicamente por termelétricas. A segunda etapa foi desenhada para permitir a contratação de recursos renováveis e foi chamada de produto energia, porém, por decisão do MME, não houve a contratação na segunda etapa, o que frustrou muitos empreendedores e impossibilitou maior diversificação dos recursos contratados.

²² Disponível em:

https://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes? afrLoop=204093433983119&adf.ctrl-state=100n5pk5mi_67. Acesso em: 08 de agosto de 2021.

O Preço de Referência resultante do Leilão, por solução de suprimento, leva em consideração o custo do investimento, o custo do combustível, os custos de operação e manutenção, bem como a declaração de inflexibilidade do projeto²³.

V. 5.2 – Dados de Entrada Utilizados na Simulação

Apesar da usina Híbrido Forte de São Joaquim ter participado do leilão com usina fotovoltaica solar associada à UTE a biocombustível, o empreendedor alterou as características técnicas de sua usina, a Resolução Autorizativa ANEEL n.º 8.053/2019 indica que a usina solar não fará parte do empreendimento.

Mesmo sendo permitida a alteração das características técnicas das usinas contratadas via Leilão de energia, a Portaria MME n.º 512/2018 estabelece como compromisso de entrega para o produto potência a “disponibilidade de potência” contratada no leilão.

Assim, para a simulação não foi considerada a solar fotovoltaica da solução de suprimento Híbrido Forte de São Joaquim e, para as usinas termelétricas foram inseridos no HOMER o valor de disponibilidade de potência contratada no leilão de 2019 - com as características dos combustíveis informadas no Capítulo IV, porém para as usinas contratadas no leilão não será limitado o consumo de combustível, visto que a comprovação do combustível faz parte da habilitação técnica dos projetos.

Para a usina Jaguatirica II, a gás natural, foi verificado que com o valor de heat-rate apresentado na Resolução Normativa ANEEL n.º 801/2017 - 11.765 kJ/kWh; com o PCI e densidade do gás natural apresentados no Anuário Estatístico ANP para 2020²⁴ - 8.800 kcal/kg e 0,74 kg/m³, respectivamente, é possível calcular eficiência de 432 m³/MWh para a máquina a gás, contudo, em pesquisa realizada junto ao mercado foi observado que não é raro encontrar máquinas mais eficientes, desta forma, para a

²³ Para maiores informações, vide o “Informe Técnico – Proposta de formulação do Preço de Referência para o Produto Potência para Suprimento a Boa Vista e Localidades Conectadas”. Disponível em: https://www.ipe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-344/EPE-DEE-IT-003_2019-r1.pdf. Acesso em 07 de novembro de 2021.

²⁴ Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/central-conteudos/anuario-estatistico/2020/anuario-2020-fatores-conversao.pdf>. Acesso em 17 de julho de 2021.

simulação foi adotado eficiência de 288 m³/MWh, o que equivale a máquinas de alta rotação.

Para a aquisição do gás natural foi considerado o preço do gás para a geração de energia praticado pela Cigás, Companhia de Gás do Amazonas, para consumo diário superior a 100.000 m³, tabela tarifária n.º 19/2020²⁵, R\$ 1,838/m³, acrescido dos custos de liquefação, do transporte terrestre Manaus - Boa Vista e da regaseificação, resultando em preço final de R\$ 2,772/m³ para a geração de energia em Boa Vista. Para o custo de O&M foi considerado R\$ 50/MWh.

A Tabela 41 apresenta os dados de entrada considerados para as usinas contratadas no leilão de Boa Vista de 2019.

Tabela 41 - Dados de entrada das usinas contratadas no Leilão de Boa Vista

Solução de Suprimento	Tecnologia	Capacidade Considerada (MW)	Investimento* (R\$)	O&M (R\$/MWh)	Custo Combustível R\$/kg ou R\$/litro
Bonfim / Cantá / Pau Rainha / Santa Luz	Cavaco de Madeira - Tora	32,652	365.100.000	100	0,346
Palmaplan Energia 2	Biodiesel	10,976	70.355.713	50	4,119
Híbrido Forte de São Joaquim Energia 2	Biodiesel	51,420	537.759.883	50	4,119
BFF Baliza	Biomassa	7,4057	97.416.022	100	0,073
	Biodiesel	5,9043		50	4,119
Jaguatirica II	Gás Natural	117,040	425.410.800	50	2,772
Monte Cristo Sucuba	Diesel	38,116	126.983.750	50	3,064

* Valor Referente a novembro de 2018.

Cabe destacar que o contrato dessas usinas prevê reajuste pelo IPCA da parcela receita fixa, já o custo do combustível é atualizado considerando o preço praticado no mercado, não sendo assim necessário conhecer os detalhes do lance de cada empreendimento no leilão para estimar o seu custo de geração.

²⁵ Disponível em: https://9da855bb-e9c1-49ea-9987-476174f5d335.usfiles.com/ugd/9da855_3c3ecddd848e4549b253f44a32627b8e.pdf. Acesso em 18 de julho de 2021.

V. 5.3 – Resultado da Simulação

Ao realizar a simulação com os dados acima apresentados, deve-se buscar dentre as configurações apresentadas aquela na qual constam todas as usinas contratadas no leilão, que nesse caso corresponde ao arranjo de número 7, Tabela 42.

Tabela 42 - Resultado Simulação usinas contratadas Leilão de 2019

ID	GN (kW)	BIO-CAV-Tora (kW)	BBF-Biodiesel (kW)	BIO-Palmaplan (kW)	DIESEL (kW)	BBF_Bagaço (kW)	S. Joaquim BIO (kW)	PCH (kW)	COE (R\$/kWh)
1	117.040	32.652		10.976	38.116	7.406		10.000	0,773
2	117.040	32.652	5.904	10.976	38.116	7.406		10.000	0,776
3	117.040	32.652	5.904	10.976	38.116			10.000	0,805
4	117.040	32.652			38.116	7.406	51.420	10.000	0,821
5	117.040	32.652	5.904		38.116	7.406	51.420	10.000	0,823
6	117.040	32.652		10.976	38.116	7.406	51.420	10.000	0,824
7	117.040	32.652	5.904	10.976	38.116	7.406	51.420	10.000	0,827
8	117.040	32.652	5.904	10.976		7.406	51.420	10.000	0,829
9	117.040	32.652		10.976		7.406	51.420	10.000	0,830
10	117.040	32.652	5.904			7.406	51.420	10.000	0,833

Nessa configuração, o custo da energia resultante, R\$ 0,8268/kWh, é 11% superior ao observado com a configuração ótima, R\$ 0,7466/kWh, porém fica próximo ao observado na simulação com a substituição de todas as máquinas a diesel, R\$ 0,8055/kWh, item V.2.5 - diferença de apenas 3%. Isso significa se o empreendedor utilizar máquinas mais eficientes em sua usina, o resultado do leilão se aproxima do resultado observado na simulação, indicando que, em termos de custo da energia, o leilão atingiu o seu objetivo.

A ausência de usinas a biodiesel nas configurações com menor COE é explicada pela declaração de 50% de inflexibilidade por essas usinas no leilão, o que reduz a geração da usina a gás natural e, consequentemente, aumenta o custo da energia, uma vez que o biodiesel apresenta custo superior ao do gás natural.

Com as premissas adotadas também foi observado aumento no nível de emissões, que alcançam 0,519 MtCO₂eq, que representa um aumento de 7% em relação à configuração ótima.

Para o transporte do combustível: (i) considerando que ao ser liquefeito o gás natural reduz em 600 vezes o seu volume; (ii) desconsiderando perdas; (iii) mantendo as premissas apresentadas por NOVO (2016); e (iv) somando as emissões provocadas pelo transporte do diesel e do gás natural, o valor das emissões devido ao transporte rodoviário se eleva para 14,14 mil toneladas de CO₂eq, resultando em 0,533 MtCO₂eq o valor total de emissões.

Precificando o valor dessa emissão, resulta em R\$ 1,97 milhões por ano, ou seja, ao não implementar solução de suprimento com maior penetração de fontes renováveis, o país perderia a oportunidade de negociar R\$ 152 mil no mercado de carbono.

Em resumo, verifica-se que o leilão de Boa Vista de 2019 atingiu o objetivo de diversificar parque gerador e que o preço da energia tende a se aproximar do valor ótimo - quando considerada a substituição das usinas diesel por máquinas novas - mostrando que o desenho do leilão tende a atingir a eficiência econômica e energética.

Contudo, a contratação de uma grande usina a gás natural eleva o nível de emissões em relação à “configuração ótima”, isso enfatiza a importância de melhor planejar os leilões dos sistemas isolados com a diversificação dos produtos a serem contratados, como havia sido pensado inicialmente para o leilão de Boa Vista com o produto energia, outra opção, é por meio da realização de leilões específicos para recursos renováveis. Tais medidas podem contribuir para a mitigação dos impactos ao meio ambiente, conforme almeja o Decreto 7.246/2010.

Além disso, levando em consideração o cenário atual de alta da inflação, e sabendo que o custo fixo das soluções de suprimento contratadas no leilão será reajustado pelo IPCA, variação de 9,2% entre novembro de 2018 e dezembro de 2020, foi realizada nova simulação a fim de verificar como a inflação pode impactar no resultado do leilão. A tabela abaixo apresenta os dados de entrada utilizados na simulação considerando o valor de investimento atualizado para dezembro de 2020.

Tabela 43 - Dados de entrada das usinas contratadas no Leilão de Boa Vista - atualizados

Solução de Suprimento	Tecnologia	Capacidade Considerada (MW)	Investimento* (R\$)	O&M (R\$/MWh)	Custo Combustível R\$/kg ou R\$/litro
Bonfim / Cantá / Pau Rainha / Santa Luz	Cavaco de Madeira - Tora	32,652	398.622.299	100	0,346
Palmaplan Energia 2	Biodiesel	10,976	76.815.547	50	4,119
Híbrido Forte de São Joaquim Energia 2	Biodiesel	51,420	587.135.253	50	4,119
BFF Baliza	Biomassa	7,4057		100	0,073
	Biodiesel	5,9043	106.360.445	50	4,119
Jaguatirica II	Gás Natural	117,040	464.470.641	50	2,772
Monte Cristo Sucuba	Diesel	38,116	138.642.986	50	3,064

* Valor Referente a dezembro de 2020.

Com essa consideração observa-se que o custo da energia sofre um aumento de 19%, alcançando R\$ 0,9808/kWh, se distanciando do valor ótimo obtido para a simulação, superando até mesmo o valor verificado para a geração atual, R\$ 0,8787/kWh, item V.4, se afastando, assim, do que era o esperado com a sua contratação e dos objetivos estabelecidos no Decreto 7.246/2010.

V. 5.4 – Comparação Multi-year – Opção Ótima x Contratação Leilão

A análise multi-year do HOMER permite comparar o desempenho de diferentes soluções de suprimento ao longo de um período, para essa análise foi considerado o valor presente líquido (VPL) e o custo da energia (COE).

Para tanto, o usuário deve informar o crescimento anual esperado para os custos dos combustíveis, para o custo de operação e manutenção, para a carga, bem como a vida útil do projeto. Para os combustíveis e para o O&M foi considerado crescimento de 4,5%, equivalente à alta do preço do diesel observada nos últimos anos e ao IPCA, para a carga foi utilizado o crescimento informado pela distribuidora, 5%.

O montante de potência contratado no Leilão de 2019 não comporta o crescimento da carga previsto para os próximos 10 anos, além disso, a UTE Monte Cristo Sucuba possui contrato para operar por apenas 60 meses, ou seja, apesar de ter sido realizada

contração em 2019, em breve será necessário providenciar nova contratação para atendimento a Boa Vista e demais localidades e ela conectadas. Por isso, a análise multi-year foi realizada para o horizonte de 5 anos.

Como resultado foi obtido VPL de R\$ 6,54 bilhões, para a solução contratada via leilão, com data base novembro de 2018, contra VPL de R\$ 6,40 bilhões para a solução ótima com a consideração de aquisição de novas máquinas a para a UTE diesel, diferença de apenas 2%. Em relação ao custo da energia, esse atinge valor de R\$ 1,023/kWh para a solução contratada em leilão e de R\$ 1,000/kWh para a solução ótima.

Fazendo a mesma análise para a solução contratada via leilão, porém atualizando os valores para dezembro de 2020, o VPL chega a R\$ 6,69 bilhões e o custo da energia se eleva para R\$ 1,046/kWh. Mais uma vez indicando que o cenário atual aumenta os custos da geração e, consequentemente, o valor a ser desembolsado pela CCC.

Cabe ainda destacar que mesmo considerando todo o parque gerador contratado no leilão, se o crescimento da carga informado pela distribuidora se concretizar, pode ser recomendável manter parte da geração atual a diesel até a entrada em operação de novas usinas, isso se deve ao fato de que parte do atendimento ao mercado consumidor do sistema Boa Vista é realizado pela PCH Alto Jatapu, cuja geração depende da afluência do rio, assim, para cenários de baixa energia afluente, no final do horizonte, pode ocorrer déficit de geração.

V. 5.5 – Operação do Sistema Boa Vista

A Portaria MME n.º 131/2019 atribuiu ao ONS a responsabilidade de planejar e programar a operação do sistema Boa Vista. A fim de garantir a segurança do suprimento, o ONS planeja a operação de forma a garantir que a perda de um equipamento não resulte em corte de carga.

Estudos em andamento para o sistema Boa Vista indicam que a UTE Jaguaitirica, com disponibilidade de potência de 117 MW, pode sofrer restrições na operação, visto que a perda de uma de suas unidades geradoras pode causar instabilidade em todo o sistema, vide figura abaixo. Reforçando, assim, a necessidade de antecipar a contratação de novas usinas para Boa Vista via leilão, ou até mesmo manter em operação parte do parque gerador diesel atual. Destaca-se que essa situação poderia ser amenizada ou até mesmo evitada se no leilão de 2019 houvesse sido realizada a contratação do produto energia.

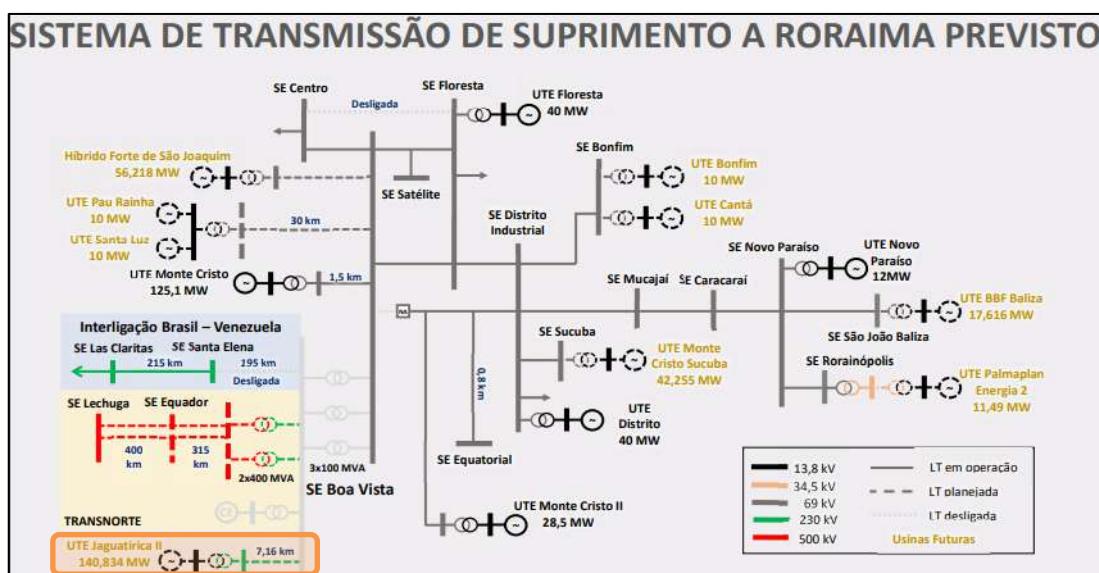


Figura 18 - Sistema Elétrico Boa Vista

Adicionalmente, as localidades que já foram objeto de leilão e cujo crescimento da demanda implique em realização de nova contratação antes do término do contrato do PIE atualmente instalado, podem enfrentar outros problemas na operação, tais como usinas operando abaixo do ponto ótimo inicialmente projetado ou excesso de partidas, principalmente com a contratação de usinas com geração variável, como a solar fotovoltaica, sem que esta esteja associada a uma usina termelétrica ou a um sistema de armazenamento previamente projetados para amortecer a variação dessa geração. Para evitar essas questões, a Portaria de Diretrizes e os demais documentos do leilão devem incluir requisitos técnicos e limitações para garantir a operação harmônica entre os dois agentes.

V. 6 – Comparação Geração x Interligação

Além dos custos de geração isolada local, para o sistema Boa Vista também cabe avaliar os custos da interligação dessa localidade ao SIN e a aquisição de energia a partir da interligação já existente com a Venezuela.

V. 6.1 – Interligação com a Venezuela

Em 2001 o Brasil assinou contrato de compra de energia com a Venezuela por 20 anos, essa energia era proveniente do complexo hidrelétrico de Guri que é interligado à SE Boa Vista por meio de LT de 230 kV com capacidade de 130 MW.

Essa energia era a principal fonte de suprimento à região metropolitana de Boa Vista, sendo complementada com geração local a diesel. Porém, a partir de 2016, devido falta de manutenção no sistema elétrico de responsabilidade da Venezuela, Boa Vista passou a sofrer desabastecimentos constantes, onde cada interrupção durava em média 30 minutos, assim, a Portaria MME n.º 468/2018 reconheceu a necessidade de manutenção de 216,5 MW de geração local e autorizou a contratação adicional de 28,5 MW em 2019, totalizando 245 MW de capacidade instalada de UTE diesel em Boa Vista até a entrada em operação de novas soluções de suprimento ou até a interligação de Boa Vista ao SIN.

A situação continuou se agravando até que em março de 2019 o governo brasileiro decidiu interromper o recebimento de energia da Venezuela, desde então o atendimento à carga é feito somente pelas usinas a diesel e pela PCH Alto Jatapu. O contrato de compra da energia venezuelana encerrou em junho de 2021 sem previsão de renovação.

Por ser proveniente de fonte hídrica, o contrato com a Venezuela garantia suprimento de energia a baixo custo, com a energia sendo adquirida por U\$ 42,62/MWh, equivalente a R\$ 247,4/MWh, considerando câmbio de R\$ 5,20 e a incidência de PIS/PASEP e COFINS, valor quatro vezes inferior ao obtido como melhor resultado da simulação.

Isso indica que, apesar do momento político não ser favorável, a manutenção da interligação de Boa Vista com a Venezuela pode ser uma decisão estratégica para garantir aquisição de energia a um custo menor do que o obtido com a geração local.

Cabe destacar que a afluência de Guri é complementar ao verificado nas usinas da região sudeste do Brasil, ou seja, manter a interligação com a Venezuela e interligar Boa Vista ao SIN pode garantir a economia de água nos reservatórios brasileiros no período de seca, além de reduzir a geração de usinas termelétricas com custo mais elevado.

V. 6.2 – Interligação com o SIN

A interligação Manaus - Boa Vista foi objeto do leilão de transmissão ANEEL n.º 004/2011 – Lote A, com previsão de entrada em operação em 2015 e investimento de R\$ 969 milhões. Contudo, o traçado da Linha de Transmissão previa travessia do território indígena Waimiri Atroari, isso se mostrou um problema e inviabilizou a sua construção.

Corrigindo o valor inicial do investimento pela inflação, hoje ele seria de R\$ 1,67 bilhões, todavia, em Audiência Pública realizada pela comissão de Minas e Energia da Câmara dos Deputados em abril de 2021, a ANEEL explicou que a Transmissora solicitou reequilíbrio financeiro indicando que os custos do investimento subiram para R\$ 2,60 bilhões.

Comparando o custo de interligação ao SIN apresentado pela Transmissora com o VPL da geração local em Boa Vista para os próximos 5 anos, item V.5.4, nota-se que o custo da interligação ao SIN representa apenas 40% do valor da geração para os próximos anos.

Salienta-se que a partir dessa interligação, o sistema Boa Vista passaria a adquirir energia proveniente do SIN, cujo relatório n.º EPE-DEE-NT-082/2020, anexo ao PDE 2030 estima valor médio da energia no SIN - para o período de 2026 a 2030 - de R\$ 187,47/MWh, contra R\$ 746,6/MWh, o menor COE obtido com a simulação.

De onde conclui-se que a interligação, seja com a Venezuela ou com o SIN é a melhor maneira de reduzir os custos de aquisição de energia elétrica em Boa Vista. No entanto, devem ser mantidas usinas na capital de Roraima por questões de segurança no suprimento, a fim de evitar situações como a que ocorreu no Amapá, onde incêndio na subestação Macapá e a ausência de equipamentos reservas deixaram os habitantes da região metropolitana sem fornecimento adequado de energia por 22 dias no final de 2020.

V. 7 – Resumo dos Resultados da Simulação

Abaixo é apresentado resumo com as principais conclusões desse capítulo.

- **Solução Ótima** – Composta por: UFV de 60 MW; UTE a biomassa de madeira no total de 42 MW; UTE a biodiesel de palma de 6MW; UTE a diesel de 150 MW e PCH de 10 MW. Com exceção UTE diesel, a configuração para 2023 é igual à de 2027, pois o crescimento da demanda é compensado com o aumento da capacidade instalada na UTE diesel.

Tabela 44 - Principais resultados da Simulação de Otimização

Configuração	COE R\$/kWh	Emissão na Geração MtCO ₂ eq	Emissão no Transporte MtCO ₂ eq	Emissão no Total MtCO ₂ eq
Ótima	0,7466			
Com a Aquisição de máquinas novas	0,8055	0,485	0,007	0,492
Atual	0,8787	0,780	0,011	0,792
Contratada no Leilão – data base nov/2018	0,8268			
Contratada no Leilão – data base dez/2020	0,9808	0,519	0,014	0,533

- **Análise Sensibilidade** – Avaliado o impacto que a alteração de algumas variáveis traz para o resultado ótimo da simulação.

Tabela 45 - Principais resultados da análise de sensibilidade

Análise	COE R\$/kWh	Emissão na Geração MtCO ₂ eq	Emissão no Transporte MtCO ₂ eq	Emissão no Total MtCO ₂ eq
Elevar em 5% o custo da madeira	0,7512			
Elevar em 4% e 10% o custo do biodiesel	0,7466			
Reducir em 20% o custo do biodiesel de palma	0,7466	0,485	0,007	0,492
Elevar em 0,5% o custo do diesel	0,7491			
Elevar em 5% o custo do diesel	0,7721			
Exigir a instalação de usinas novas	0,8055			
Elevar a taxa de desconto de 8% para 12%	0,7552	0,535	0,008	0,543

- **Análise Multi-year** – Comparação do VPL da solução de suprimento contratada em Leilão *versus* o VPL da configuração ótima para horizonte de 5 anos.

Tabela 46 - Análise do custo da Contratação realizada via Leilão para período de 5 anos

Configuração	VPL R\$	COE R\$/kWh
Ótima	6,40 bi	1,000
Leilão – data base nov/2018	6,54 bi	1,023
Leilão – data base dez/2020	6,69 bi	1,046

- **Análise Interligação** – Avaliação dos custos de investimentos de interligação e valor da energia.

Tabela 47 – Custos Interligação

Interligação	COE R\$/kWh	Investimento R\$
Venezuela	0,2474*	**
SIN	0,1875***	de 1,67 a 2,60 bilhões

* Valor do Contrato vigente até junho/2021

** Depende de avaliação técnica para reativar a interligação

*** Custo do CME médio para o período de 2026 a 2030

CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES

Utilizando Boa Vista como estudo de caso, o trabalho mostrou como identificar os recursos energéticos disponíveis em uma região e estimar a capacidade de geração de energia elétrica a partir desses recursos.

Com o objetivo de identificar a configuração do parque gerador que seria capaz de reduzir tanto o custo de geração, quanto as emissões de CO₂, foi utilizado o software HOMER, que assim como observado em outros países, se mostrou adequado para a simulação com os sistemas isolados brasileiros, pois permite a consideração de usinas renováveis de diferentes tipos, tais como EOL, UFV, PCH e UTE a biomassa e a combustíveis líquidos. Além disso, o HOMER permite que o usuário insira no programa as informações dos recursos energéticos e modele as máquinas que serão utilizadas na simulação e possibilita a inclusão de diferentes informações de custo, não só dos equipamentos, mas também dos combustíveis.

Depois da identificação dos recursos energéticos disponíveis na região de Boa Vista, da estimativa da capacidade das usinas que podem ser instaladas utilizando esses recursos e da identificação do melhor software para a otimização dos recursos energéticos, foi realizada simulação, de onde se observou que além das usinas a diesel e da PCH atualmente instaladas também podem ser utilizadas usinas a biomassa de cavaco de madeira, usinas a biodiesel e usina solar fotovoltaica.

O preço do diesel é refletido diretamente no custo da energia, nesse sentido, a consideração das usinas renováveis em Boa Vista se mostrou importante para a redução do consumo do óleo diesel, o que teve influência direta não só no custo, mas também para a redução das emissões.

Comparando o resultado da simulação com a contratação realizada via Leilão dos Sistemas Isolados, n.º 01/2019, para a data base do leilão - novembro de 2018, foi verificado que, em termos de custo da energia, o leilão tende a se aproximar do resultado obtido para a “solução ótima” da simulação, considerando a substituição de todo o parque gerador por usinas novas. Contudo, diante do atual cenário de alta na inflação, a simulação foi refeita considerando a atualização da data base para dezembro de 2020, correção de 9,2% no valor do investimento pelo IPCA, com isso, o custo de geração cresce superando

não só o valor obtido para a “solução ótima”, mas também o custo de geração da solução atualmente em operação, ou seja, a alta na inflação faz com que o resultado do leilão se afaste de seu objetivo.

Isso sugere a importância de rever o modelo de contratação atual, de forma a evitar que o proponente aloque maior parte do seu preço, de forma irreal, na parcela fixa, reduzindo o risco do negócio, sem que isso se reflita em benefício para o consumidor.

Por outro lado, como ponto positivo, destaca-se que o desenho do leilão - com a consideração de períodos distintos para o contrato das usinas a diesel, 60 meses, e de 180 meses para gás natural ou renováveis - possibilitou a inserção de novas fontes de geração, diversificando a matriz energética de Boa Vista. A inovação ficou por conta da solução de suprimento a gás natural, cujo combustível será proveniente do Amazonas.

O leilão de Boa Vista foi planejado para contratar dois produtos distintos, o produto potência, cujas soluções de suprimento deveriam ter capacidade de modulação de carga e flexibilidade para operação variável, para as quais o compromisso de entrega consiste em disponibilidade de potência, ou seja, esse produto era formado basicamente por usinas térmicas; e o produto energia, cujas soluções de suprimento deveriam ser formadas exclusivamente fontes renováveis, para as quais o compromisso de entrega consistia em produção anual de energia. Contudo, durante a realização do leilão optou-se por não contratar o produto energia, essa estratégia impediu maior diversificação do parque gerador, implicará em maior nível de emissões e pode reduzir a segurança do suprimento, visto que estudos em andamento indicam que será necessário manter parte da geração a diesel atual para garantir segurança na operação do sistema Boa Vista. A não contratação de mais soluções de suprimento com base em energia limpa também reduz as oportunidades do país em um cenário de negociações no mercado de carbono.

Ainda em relação ao desenho do leilão, conclui-se que o mesmo acerta em não exigir a instalação de máquinas novas, o que contribui para a redução dos custos. Observou-se também que a contratação utilizando os valores de demanda previstos para o quinto ano, estratégia utilizada pelo planejador a fim de reduzir a incerteza associada ao crescimento do mercado consumidor nos sistemas isolados, não influencia no arranjo da configuração ótima.

Com base no exposto, conclui-se que o leilão de energia nos sistemas isolados garantiu a diversificação do parque gerador e que a utilização de recursos energéticos locais poderia contribuir para atingir a eficiência econômica, porém um cenário de inflação desfavorável reduz os benefícios dessa contratação, elevando o valor a ser desembolsado pela CCC.

Além disso, os leilões nos sistemas isoladas precisam ser remodelados a fim de aumentar a penetração de usinas renováveis e, consequentemente, reduzir as emissões de CO₂, incluindo as emissões relacionadas ao transporte de combustível para as localidades, para tanto, pode-se utilizar a contratação via produto energia, como havia sido pensado para o Leilão de Boa Vista de 2019, ou até mesmo realizar leilões específicos para a contratação de energia renovável nos sistemas isolados.

Outro resultado importante diz respeito às interligações, seja com o SIN ou com outras localidades, uma vez que a interligação tende a otimizar o uso dos recursos energéticos para a geração de energia e colabora para a redução dos custos. Cabe destacar que a geração de energia para atendimento aos sistemas isolados é reembolsada pela CCC, que para 2021 prevê desembolsar R\$ 8,5 bilhões.

Finalmente, salienta-se que o trabalho não teve por objetivo obter o valor exato dos custos de geração ou de emissões para o sistema Boa Vista, uma vez que esses valores são sensíveis aos parâmetros utilizados na simulação, os valores aqui obtidos servem apenas para fins de comparação entre as soluções desse estudo.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se: (i) reproduzir a simulação realizada nesse estudo utilizando outros softwares a fim de identificar a viabilidade de uso de outros softwares; (ii) realizar simulação considerando os parâmetros elétricos do sistema Boa Vista, com o objetivo de propor melhorias na rede de distribuição que posterguem a necessidade de expansão do parque gerador; (iii) conduzir estudos semelhantes utilizando outros sistemas isolados; (iv) avaliar se a contratação obtida com o Leilão dos Sistemas Isolados de 2021 foi bem sucedida, tanto do ponto de vista econômico, quanto ambiental; e (v) conduzir estudos de medição do potencial eólico em Bonfim e Normandia e refazer a simulação considerando esse recurso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMILHO – Associação Brasileira das Indústrias do Milho, 2019, *O cereal que enriquece a alimentação humana.* Disponível em <http://www.abimilho.com.br/milho/cereal>. Acesso: em 14 de julho de 2020.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2012, *Caderno Informativo - Recuperação Energética dos Resíduos Sólidos Urbanos.* São Paulo.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2019, *Panorama do Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019.* São Paulo.

ALENCAR, M., CRUZ, G., TULLIO, R., *et al.*, 2007, “Peso vivo, idade de abate, duração do confinamento e características de carcaça de bovinos jovens provenientes de cruzamentos de raças adaptadas e não adaptadas”, *44ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia.* Jaboticabal.

ALVES, A., CORDEIRO, A., CHAGAS, E., *et al.*, 2015, *Implantação de Cultivos Intercalares com Palma de Óleo (dendê).* Embrapa – ISSN 0104 – 9046. Roraima.

AMARANTE, O., ZACK, M., SÁ, A., 2001, *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro.* CRESESB. Brasília. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico_brasil/atlas-web.htm. Acesso em: 05 de julho de 2020

ANA – Agência Nacional das Águas, 2020, *Atlas Esgotos.* Disponível em <http://atlassesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 04 de julho de 2020.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2005, *Atlas de Energia Elétrica do Brasil.* 2 ed. Brasília.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2020, *BIG – Banco de Informações de Geração.* Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2020.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, 2016, *Biodiesel*. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/component/content/article/63-dados-estatisticos/789-producao-de-biodiesel>. Acesso em: 19 de abril de 2020.

ANTONINI, J., VELOSO, R., MALAQUIAS, J., 2015, “Produtividade de óleo de palma cultivada com irrigação suplementar nas condições de clima tropical de savana”, *XXV CONRD - Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem*, UFS -São Cristóvão - SE.

ARRIBAS, L., BOPP, G., VETTER, M., *et al.*, 2011, *World-wide overview of design and simulation tools for hybrid PV systems*. Photovoltaic Power Systems Programme – Report IEA-PVPS, n. 11. Disponível em: https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/rep11_01.pdf. Acesso em: 05 de maio de 2021.

AVISITE, 2018. “Frango: a evolução da produtividade nos últimos 90 anos”, *O Portal da Avicultura*. Disponível em: <https://avisite.com.br/index.php?page=noticias&id=18809>. Acesso em: 28 de junho de 2020.

AVISITE, 2020. “Abate inspecionado de frangos: distribuição segundo o sistema de inspeção”, *O Portal da Avicultura*. Disponível em: <https://www.avisite.com.br/index.php?page=noticias&id=20727>. Acesso em: 28 de junho de 2020.

BALIEIRO, F., DIAS, L., FRANCO, A., *et al.*, 2004. “Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serrapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium Willd*”, *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 14, n. 1, pp. 59-65.

BALIEIRO, F., ZILLI, J., PRIN, Y., *et al.*, 2010. “Nodulação e fixação biológica de nitrogênio (FBN) em *Acacia mangium Willd*”. In: TONINI, H., VIEIRA, B., SILVA, S. (eds), *Acacia mangium - Características e seu cultivo em Roraima*, 1^a ed., Capítulo 3. Embrapa. Brasília, DF.

BARROS, T., JARDINE, J., 2005, “Gordura Animal”, Agência EMBRAPA de Informação e Tecnologia. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1om7kf02wyiv802hvm3jholoom.html>. Acesso em: 27 de junho de 2020.

CHANDEL, S., 2014, “Review of software tools for hybrid renewable energy systems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 32, pp. 192-205.

COLLARES, D., 2019. “Sebo bovino é a segunda matéria-prima na produção de biodiesel”. *Embrapa-Agroenergia*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agroenergia/busca-de-noticias/-/noticia/47881589/sebo-bovino-e-segunda-materia-prima-na-producao-de-biodiesel>. Acesso em: 27 de junho de 2020.

CORDEIRO, A., MEDEIROS, R., 2010, *Comunicado Técnico 47 – Evolução do Cultivo e Custo de Produção do Arroz Irrigado em Roraima*. Embrapa. Boa Vista.

COSTA, K., PASTOR, T., SILVA, J., *et al.*, 2018, “Geração de Energia Elétrica a partir do Aproveitamento do Biogás Gerado por Resíduos Sólidos Urbanos no Sertão de Alagoas”, *Caburé – Saberes Acadêmicos Interdisciplinares*. v.1, n.1, pp. 81-90. Alagoas.

COSTA NETO, P., ROSSI, L., 2000, “Produção de Biocombustível Alternativo ao Óleo Diesel através da Transesterificação de Óleo de Soja Usado em Frituras”, *revista Química Nova*, v. 23, n. 4, pp. 531-537.

COUTO, C., PILOTTO, M., GATTO, D., *et al.*, 2013, “Estimativa do poder calorífico de madeiras de *Acacia measrnsii* e *Eucalyptus grandis*”, *XX Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas*. RS.

DOILE, G., NASCIMENTO, R., 2010, “Linhão de Tucuruí – 1.800 km de Integração Regional”. *T&C Amazônia*, ano III, n. 18, pp. 58-63.

DOMINGUES, P., 2003, *A Interconexão Elétrica dos Sistema Isolados da Amazônia ao Sistema Interligado Nacional*. Dissertação de M.Sc., UFSC, Florianópolis.

DURSUN, B., GOKCOL, C., ILHAN, U., *et al.*, 2013, “Techno-Economic Evaluation of a Hybrid PV-Wind Power Generation System”. *International Journal of Green Energy*, v. 10, Issue 2, pp. 117-136.

EISLER, D., 2016, “Energy Literacy in Canada: A Summary”. *SPP Research Papers – The School of Public Policy*, v. 9, Issue 1.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2013, *Empreendimentos Fotovoltaicos - Instruções para solicitação de cadastramento e habilitação técnica com vistas à participação nos leilões de energia elétrica*, Relatório nº EPE-DEE-RE-065/2013-r5. Rio de Janeiro.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2014, Nota Técnica - *Inventário Energético dos Resíduos Urbanos*. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topicos-311/DEA%2018%20-%20Invent%C3%A1rio%20Energ%C3%A9tico%20de%20Res%C3%ADuos%20S%C3%B3lidos%20Urbanos%5B1%5D.pdf>. Acesso em: 05 de julho de 2020.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2017, *Definição das características elétricas para o leilão de suprimento a Roraima*, nº EPE-DEE-NT- 073/2017 e ONS NT 0143/2017. Rio de Janeiro.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2017, *GT Roraima Subgrupo IV – Identificação de alternativas de atendimento – médio e longo prazo*, Relatório nº EPE-DEE-NT-032/2017-r0. Rio de Janeiro.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2018, *Projetos Fotovoltaicos nos Leilões de Energia – Características dos empreendimentos participantes nos leilões de 2013 a 2018*, nº EPE-DEE-NT-091/2018-r0. Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-110/topicos-418/EPE-DEE-NT-091_2018-r0.pdf. Acesso em: 11 de julho de 2020.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2019, *Potencial Energético dos Resíduos Urbanos*, Informe Técnico nº EPE-DEA-IT-007/2019. Rio de Janeiro.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2020a, *Projetos Eólicos nos Leilões de Energia - Evolução dos projetos cadastrados e suas características técnicas. Atualização Leilões 2018-2019*, Relatório nº EPE-DEE-017/2020. Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-110/topicos-418/EPE-DEE-NT-091_2018-r0.pdf

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-468/NT_EPE-DEE-NT-017-2020-r0.pdf. Acesso em: 05 de julho de 2020.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2020b, *Balanço Energético Nacional – ano base 2019*. Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topicos-528/BEN2020_sp.pdf. Acesso em: 09 de junho de 2021.

EPE – Empresa de Pesquisa Elétrico, 2021, *Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2025 – Ciclo 2020*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/relatorio-de-planejamento-para-atendimento-aos-sistemas-isolados-horizonte-2025-ciclo-2020>. Acesso em 07 de agosto de 2021.

FÁVERO, J., FIGUEIREDO, E., IRGANG, R., *et al.*, 2011, “Evolução da genética: do ‘porco tipo banha’ ao suíno light”. In: SOUZA, J., TALAMINI, D., SCHEUERMANN, G., *et al.*, *Sonho, desafio e tecnologia: 35 anos de contribuições da Embrapa Suínos e Aves*, 1^a ed., Capítulo 4. Embrapa. Concórdia - SC.

FELICI, P., CORONATO, M., GAZZONI, D., *et al.*, 2006. “Balanço energético das culturas de girassol e soja para produção de biocombustível”. *II Jornada Acadêmica da Embrapa Soja*, pp. 25-32.

FERRARI, R., OLIVEIRA, V., SCABIO, A., 2005, “Biodiesel de Soja – Taxa de Conversão em Ésteres Etílicos, Caracterização Físico-Química e Consumo em Gerador de Energia”, *revista Química Nova*, v.28, n. 1, pp. 19-23.

FOELKEL, C., 2012, “Os Eucaliptos e as Leguminosas - Parte 02: *Mimosa scabrella* (Bracatinga)”. *Eucalyptus Online Book e Newsletter*. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT26_Bracatinga.pdf. Acesso em: 02 de maio de 2020.

FONTES, P., 1994, *Auto-suficiência energética em aerraria de *Pinnus* e aproveitamento dos resíduos*. Dissertação de M.Sc., UFPR, Curitiba, PR.

GATTO, D., SANTINI, E., HASELEIN, C., *et al.*, 2003, “Características da Lenha Produzida na Região da Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul”, *Ciência Florestal*, v.13, n. 2, pp. 7-16, Santa Maria.

HERZOG, F., 2007. *Projeto Ouro Verde – Plano de Manejo Florestal*, Resumo Público. Boa Vista, RR.

HIRAHURI, M., LAZZAROTTO, J., ÁVILA, M., 2010. *Avaliação da Relação entre Soja e Produção de Biodiesel*. Embrapa Soja - Agropecuária, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Londrina – PR – Brasil.

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais, 2014, *InSTRUÇÃO Normativa IBAMA nº 21*. Disponível em: http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/formularios/IN_21_DE_2014.pdf. Acesso em: 16 de maio de 2020.

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais, 2019, *Documento de Origem Florestal – DOF*. Brasília. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/flora-e-madeira/dof/o-que-e-dof>. Acesso em: 10 de maio de 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007, *Classificação Nacional de Atividades Econômicas – versão 2.0 – Estrutura detalhada e notas explicativas*. Rio de Janeiro. Disponível em: https://concla.ibge.gov.br/images/concla/documentacao/CNAE20_NotasExplicativas.pdf. Acesso em: 09 de maio de 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017, *Censo Agropecuário*. Rio de Janeiro. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html. Acesso em: 24 de fevereiro de 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018a, *Produção Agrícola – Lavoura Temporária*. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rr/pesquisa/14/0>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018b, *Pecuária*. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rr/pesquisa/18/16459>. Acesso em: 28 de junho de 2020.

IESS - Ideal Estudos e Soluções Solares, 2021. *Avaliação de Fatores Críticos na Integração de Fontes Intermitentes de Energia em Sistemas Isolados - Produto 2*. Consultoria para Identificação Modelos Técnicos e Econômicos de Integração Renovável em Sistemas Isolados. EPE/GIZ. Maio/2021.

IRENA – International Renewable Energy Agency, 2020. *Renewable Energy Statistics 2020*. Disponível em <https://irena.org/publications/2020/Jul/Renewable-energy-statistics-2020>. Acesso em: 05 de julho de 2020.

ISA – Instituto Socioambiental, 2013. “Raposa Serra do Sol possui 3 torres para medir a força dos ventos e do sol”. *Boletim de Notícias do Projeto Cruviana*, n. 1. Boa Vista. Disponível em: https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/blog/pdfs/boletim_cruviana_edicao1_final_web_corrigido.pdf. Acesso em: 05 de julho de 2020.

ISA – Instituto Socioambiental, 2014. “Conheça os novos Resultados do Estudo do vento e do sol na Terra Indígena Raposa Serra do Sol”. *Boletim de Notícias do Projeto Cruviana*, n. 2. Boa Vista. Disponível em: https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/blog/pdfs/boletim_cruviana.pdf. Acesso em: 05 de julho de 2020.

ISA – Instituto Socioambiental, 2019. *Raposa Serra do Sol e do Vento – Floresta Iluminada*. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=Tomm10WQDME>. Acesso em: 05 de julho de 2020.

KUMARAVEL, S., ASHOK, S., 2012, “An Optimal Stand-Alone Biomass/Solar-PV/Pico-Hydel Hybrid Energy System for Remote Rural Area Electrification of Isolated Village in Western-Ghats Region of India”. *International Journal of Green Energy*, v. 9, Issue 5, pp. 398-408.

LAMBERT, T., GILMAN, P., LILIENTHAL, P., 2006, “Micropower System Modeling with HOMER”. In: FARRET, A., SIMOES, G. (eds), *Integration of Alternative Sources of Energy*. 1^a ed., Capítulo 15, pp. 379–418.

LEE-JONES, D., 2016, *Feasibility study of building integrated hybrid solar PV and wind power systems: a case-study on the Swedish Island of Gotland*. Dissertação de M.Sc., Uppsala University.

LEWANDROWSKI, J., ROSENFELD, J., PAPE, D., *et al.*, 2019. “The greenhouse gas benefits of corn ethanol – assessing recent evidence”. *Journal Biofuels*, v. 11, issue. 3, pp. 361-375. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17597269.2018.1546488>. Acesso em: 01 de julho de 2020.

LODI, A, 2020. “Uso do óleo de soja para biodiesel perde participação em 2019”, *INTL-FCStone*. Disponível em <https://www.mercadosagricolas.com.br/graos-e-oleaginosas/uso-do-oleo-de-soja-para-biodiesel-perde-participacao-em-2019/>. Acesso em: 25 de abril de 2020.

LOMBARDI, P., SOKOLNIKOVA, T., SUSLOV, K., *et al.*, 2016, “Isolated power system in Russia: A chance for renewable energies?”. *Renewable Energy*, v. 90, pp. 532–541.

MARCONCICI, J., OLIVEIRA, R., 2007, *Comunicado Técnico 89 - Termogravimetria de Cascas de Arroz*. Embrapa. São Carlos.

MARTINEZ, D., FEIDEN, A., 2017, “Potencial do Resíduo do Processamento da Mandioca para a Produção de Etanol de Segunda Geração”, *revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 6, n. 2, pp. 141-148.

MARTO, G., 2007, *Acacia mangium (Acácia)*. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF. Disponível em: <https://www.ipef.br/identificacao/acacia.mangium.asp>. Acesso em: 01 de maio de 2020.

MAYER, F., HOFFMANN, R., RUPPENTHAL, J., 2006, “Gestão Energética, Econômica e Ambiental do Resíduo Casca de Arroz em Pequenas e Médias Agroindústrias de Arroz”, *XIII SIMPEP*. Bauru.

MENDONÇA, A., BORNIA, A., 2019. “Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Análise das Políticas Públicas”. *Mix Sustentável*, v. 5, n. 2, pp. 109-122, Florianópolis.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2009, *Aproveitamento de Resíduos e Subprodutos Florestais, Alternativas Tecnológicas e Propostas de Políticas ao Uso de Resíduos Florestais para Fins Energéticos.* Curitiba. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/164/publicacao/164_publicacao10012011033501.pdf. Acesso em: 24 de fevereiro de 2020.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2013, *Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 3ª fase (2012 – 2015) pelo uso sustentável e conservação da Floresta.* Brasília. Disponível em: https://www.mma.gov.br/images/publicacoes/florestas/Catalogo/Tema3_Prevencao-Controle-Desmatamento/PPCDAm_3afase.pdf. Acesso em: 24 de fevereiro de 2020.

MME – Ministério de Minas e Energia, EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2020, *Plano Decenal de Expansão de Energia 2029.* Brasília. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202029.pdf>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2020.

NOVO, A., 2016, *Perspectivas para o consumo de combustível no transporte de carga no Brasil: uma comparação entre efeitos, estrutura e intensidade no uso final de energia no setor.* Dissertação de M.Sc., COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro.

OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico, 2021, *Carbon Pricing in Times of COVID-19: What Has Changed in G20 Economies?* OCDE, Paris. Disponível em: https://www.oecd.org/tax/tax-policy/carbon-pricing-in-times-of-covid-19-what-has-changed-in-g20-economies.htm?_ga=2.227539486.2073012721.1636301102-542343881.1636301099. Acesso em 07 de novembro de 2021.

OLIVEIRA, E., SILVA, P., 2013, “Comparative study of calorific value of rapeseed, soybean, jatropha curcas and canola biodiesel”, *Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ)*, v. 1, n. 11, pp. 679-682.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2016, *Relatório da Administração e as Demonstrações Financeiras.* Disponível em: <http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/2015-ONS-Relatorio-Anual.pdf>. Acesso em 30 de julho de 2020.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2020, *Plano Anual de Operação dos Sistemas Isolados para 2021 – PEN SISOL 2021*. Disponível em: <http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/DPL-REL-0250-2020%20-%20PEN%20SISOL%202021.pdf>. Acesso em: 07 de agosto de 2021.

PELOSO, J., PASIAN, I., GUIDONI, A., 2017. “Sistema de Avaliação da Qualidade da carcaça suína”, *Revista Suinocultura*, n.º4, ed. 277.

PEREIRA, E., MARTINS, F., GONÇALVES, A., *et al.*, 2017, *Atlas Brasileiro de Energia Solar - LABREN / CCST / INPE*, 2^a ed., São José dos Campos, SP.

PEREZ, R., SEALS, R., ZELENKA, A., 1997, “Comparing satellite remote sensing and ground network measurements for the production of site/time specific irradiance data”, *Solar Energy*, v. 60, 2 ed., pp 89-96.

RAMALHO FILHO, A., NAIME, U., MOTTA, P., *et al.*, 2008, *Zoneamento Agroecológico do Dendê nas áreas desmatadas da Amazônia Legal*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/957299/zoneamento-agroecologico-do-dende-nas-areas-desmatadas-da-amazonia-legal>. Acesso em: 03 de junho de 2020.

REHMAN, S., AL-HADHRAMI, L., 2010, “Study of a solar PV–diesel–battery hybrid power system for a remotely located population near Rafha, Saudi Arabia”. *Energy*, v. 35, pp. 4986-4995.

SAIPRASAD, N., KALAM, A., ZAYEGH, A., 2018, “Comparative Study of Optimization of HRES using HOMER and iHOGA Softwares”. *Journal of Scientific & Industrial Research*, v. 77, pp. 677-683.

SALLA, D., 2008, *Análise Energética de Sistemas de Produção de Etanol de Mandioca, Cana-de-açúcar e Milho*. Tese de D.Sc., UNESP, São Paulo.

SAPORTA, L., 2017, *O papel dos reservatórios de hidroelétricas na integração da geração eólica no Sistema Interligado Nacional*, Tese de D.Sc., PPE-UFRJ, Rio de Janeiro.

SINHA, S., CHANDEL, S., 2014, “Review of software tools for hybrid renewable energy systems”. *Renewable and Sustainable Energy Review*, n. 32, pp. 192-205.

SMIDERLE, O., 2010. “Dormência e germinação de sementes”. In: TONINI, H., VIEIRA, B., SILVA, S. (eds), *Acacia mangium – Características e seu cultivo em Roraima*, 1^a ed., Capítulo 2. Embrapa. Brasília, DF.

SOUZA, C., ROSSI, L., AZEVEDO, C., *et al.*, 2004, “Comportamento da *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em plantios experimentais na Amazônia Central”. *Scientia Forestalis*, n. 65, pp. 95-101.

SOUZA, S., NIETZKE, G., GOMES, L., *et al.*, 2005, *Potencial de produção de biodiesel a partir do óleo de frango nas cooperativas do oeste do Paraná*. Dissertação de M.Sc., Universidade do Oeste do Paraná - PR.

TOLMASQUIM, M., 2016. “Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear”, *Biomassa – Estado da Arte na Geração de Bioeletricidade*, 1^a ed., Capítulo 4. EPE. Rio de Janeiro.

TONINI, H., ANGELO, D., CONCEIÇÃO, J., *et al.*, 2010. “A silvicultura da *Acacia mangium* em Roraima”. In: TONINI, H., VIEIRA, B., SILVA, S., *Acacia mangium – Características e seu cultivo em Roraima*, 1^a ed., Capítulo 5. Embrapa. Brasília, DF.

TORRES FILHO, A., 2014, *Aplicação do processo de pirólise para valoração, cogeração de energia e tratamento de resíduos*. Tese de D.Sc., UFMG, Belo Horizonte.

VALE, A., BRASIL, M., CARVALHO, C., *et al.*, 2000, “Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação”. *CERNE*, v.6, pp. 883-88.

VALLE, T., FELTRAN, J., CARVALHO, C., 2009, *Mandioca para a Produção de Etanol*. Instituto Agronômico. Campinas. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/mandiocaetanol2_000g7fa3wbe02wx5ok0wtedt3i5fuc84.pdf. Acesso em: 26 de fevereiro de 2020.

VEIGA, J., 2012, *Caracterização de resíduos de colheita da mandioca (*Manihot esculenta* CRANTZ) e avaliação do potencial de co-geração de energia no processo de produção de etanol*. Dissertação de M.Sc., FEM-UNICAMP, São Paulo.

VILLELA, A., 2014. *Expansão da Palma na Amazônia Oriental para fins Energéticos*. Tese de D. Sc., COPPE, Rio de Janeiro.

WORLD BANK, 2018. *What a waste 2.0 – A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2174>. Acesso em: 03 de julho de 2020.

ZUNIGA, A., PAULA, M., COIMBRA, J., et al., 2011, “Revisão: Propriedades físico-químicas do Biodiesel”. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v.21, pp. 55-72.