

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS DE CURITIBA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

SEDAMINOU FLORIANE ISABELLE KPANOU

**MODELO DE ANÁLISE DOS RECURSOS ENERGÉTICOS DISPONÍVEIS
PARA SUPRIMENTO DE ENERGIA EM COMUNIDADES ISOLADAS.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2018

SEDAMINOU FLORIANE ISABELLE KPANOU

**MODELO DE ANÁLISE DOS RECURSOS ENERGÉTICOS DISPONÍVEIS
PARA SUPRIMENTO DE ENERGIA EM COMUNIDADES ISOLADAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para a obtenção do grau de Engenheira Eletricista no curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Luiz Amilton Peplow

CURITIBA
2018

SEDAMINOU FLORIANE ISABELLE KPANOU

**MODELO DE ANÁLISE DOS RECURSOS ENERGÉTICOS DISPONÍVEIS
PARA SUPRIMENTO DE ENERGIA EM COMUNIDADES ISOLADAS.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheira Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 22 de Novembro de 2018.

Prof. Antonio Carlos Pinho, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luiz Amilton Peplow
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. Alvaro Augusto W. de Almeida.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. André Eugenio Lazzaretti.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Luiz Amilton Peplow
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso de Engenharia Elétrica.

Dedico este trabalho a todos aqueles que, de uma certa forma, foram presentes nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

Claro! Primeiramente, agradeço a Deus por ser Deus e Pai ao mesmo tempo. Acredito que não sejam tarefas fáceis e admiro a forma como Ele consegue fazer tudo acontecer e resolver tudo. É simplesmente INCRÍVEL! Mas REAL!

Agradeço minha mãe Yvette de Souza, a pessoa que sempre investiu e acreditou em mim. Meus agradecimentos se direcionam também aos meus pais adotivos M. Yaya Kakpo e Mme Bertille Kakpo, à família toda. Vocês são geniais!

Longe de casa, e da família, surgiu uma nova família a partir dos laços de amizade. Agradeço meus amigos e minhas amigas, companheiros e companheiras do RU, da luta, das risadas, dos passeios, das revisões, das viagens... teria sido insuportável sem vocês.

Finalmente, agradeço às entidades envolvidas no convênio de estudo entre o Benim e o Brasil. Meus agradecimentos a todos os professores e professoras que eu tive o privilégio de conhecer durante meu percurso, principalmente, a professora Miriam Retorta, a professora Giovanna Pezarico, o professor Jean Marcelo Simão, e o professor Luiz Peplow pela orientação para a realização deste trabalho.

*“Pois a sabedoria é uma proteção, assim como o dinheiro é uma proteção. Mas a vantagem do conhecimento é esta: a sabedoria preserva a vida de quem a possui.”
Eclesiaste 7:12.*

RESUMO

KPANOU, S. F. I. **Modelo de análise dos recursos energéticos disponíveis para suprimento da demanda de energia das comunidades isoladas.** 2018. 94f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

As comunidades rurais costumam ser esquecidas no planejamento energético de uma nação. Elas constituem uma camada vulnerável e importante para o desenvolvimento sócio-econômico, pois são principais atores do crescimento agrícola. Esse trabalho propõe um modelo de análise, estruturado em ontologia no editor “Protégé”, para o planejamento energético no meio rural a partir dos estudos de caso realizados em diversas comunidades. O modelo servirá de ferramenta de apoio à decisão se baseando sobre semelhanças de casos para indicar o melhor recurso energético a fim de atender a demanda de energia elétrica da comunidade. Neste trabalho, foram implementados dois estudos de casos na validação do modelo dando início ao repertório de experiências de planejamento energético no meio rural.

Palavras-chave: Comunidades rurais, Planejamento energético, Ontologia, Protégé.

RÉSUMÉ

KPANOU, S. F. I. **Modèle d'analyse des ressources énergétiques disponibles pour répondre aux besoins énergétiques des communautés isolées.** 2018. 94f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica)-Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

Les communautés rurales sont souvent négligées dans la planification énergétique d'une nation. Étant les principales actrices de la croissance agricoles, elles constituent une couche vulnérable et à la fois importante pour le développement socio-économique. Ce travail propose un modèle d'analyse, structuré en ontologie à travers l'éditeur <<Protégé>>, pour la planification énergétique en milieu rural à partir des études de cas réalisés en de différentes communautés. Le modèle servira d'outil d'appui à la décision en se basant sur les expériences similaires pour indiquer la ressource énergétique adaptée à la réalité et capable de répondre aux besoins d'énergie électrique de la communauté en question. Dans ce travail, deux études de cas ont été développés afin de valider le modèle, tout en initiant le répertoire des expériences de planification énergétique en milieu rural.

Mots-clés : Communauté rurale, planification énergétique, ontologie, Protégé.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Mapa do Benim	13
Figura 2 : Fluxograma do modelo de análise.....	19
Figura 3 : Exemplo de curva de carga das demandas	25
Figura 4 : Fluxograma da análise da demanda	27
Figura 5 : Elementos básicos para geração de energia elétrica.....	28
Figura 6 : O Vale do Rift	29
Figura 7 : Principais tipo de tecnologias de conversão das energias das ondas e suas variações	32
Figura 8 : Dispositivos de corpos oscilantes: submerso ancorado (a), flutuante ancorado(b), submerso rotacional (c), flutuante rotacional (d).....	33
Figura 9: Condições de Sustentabilidade	43
Figura 10 : Rotas de conversão energética da Biomassa	47
Figura 11 : Sistema de Geração eólica isolada	49
Figura 12: Imagem do ODS 7	58
Figura 13: Linha de tempo de programas de eletrificação rural.....	59
Figura 14 : Árvore de atributos e subatributos da dimensão técnico-econômica	61
Figura 15 : Processo de valoração dos recursos energéticos em determinada região	67
Figura 16 : Árvore de atributos e subatributos da dimensão ambiental	75
Figura 17: Árvore de atributos e subatributos da dimensão política	75
Figura 18 : Ávore de atributos e subatributos da dimensão social.....	75
Figura 19: Modelo elaborado	77
Figura 20: Forma de aproveitamento da energia de biomassa da comunidade	79
Figura 21 : Exigência da velocidade do vento viável	79
Figura 22: Resultado da DL Query	80
Figura 23: Resultado no OntoGraf	81
Figura 24: Demanda energética diária da comunidade de igarapé Combu	82
Figura 25: Os objetivos da análise.....	82
Figura 26: Resultado da DL Query	83
Figura 27: Resultado no OntoGraf	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Classificação das PCHs quanto à potência instalada e queda do projeto.....	38
Tabela 2: Densidades e poderes caloríficos de Biomassa florestal.....	42
Tabela 3: Recursos de Uranio disponíveis em 2015	54
Tabela 4: Recursos energéticos estimados na comunidade.....	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação de turbinas de acordo com a faixa de quedas	39
Quadro 2: Fontes utilizadas no Brasil-fase: Operação.....	41
Quadro 3: Poderes Caloríficos de alguns combustíveis	45
Quadro 4: Fator de Emissão de gases a efeito de estufa por fonte de geração elétrica	57
Quadro 5: Custos de instalação	61
Quadro 6: Custos de operação e manutenção.....	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2 . OBJETIVO GERAL	16
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4. JUSTIFICATIVA E PREMISSA DA PESQUISA	17
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1. COMUNIDADE ISOLADA	22
2.2. ANÁLISE DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA COMUNIDADE ISOLADA	23
2.3. FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	28
2.3.1. Energias Renováveis	28
2.3.1.1. Energia geotérmica ou geotermal	29
2.3.1.2. Energia dos oceanos: ondas e marés	31
2.3.1.3. Energia hidráulica: recursos hídricos	34
2.3.1.5. Energia eólica: vento	48
2.3.1.6. Energia solar: sol	50
2.3.2. Fontes Não Renováveis	52
2.4. IMPACTOS LIGADOS A EXPLORAÇÃO DOS RECURSOS ENERGÉTICOS	54
2.4.1. Impactos Das Fontes Energéticas Renováveis	55
2.4.2. Impactos Das Fontes Energéticas Não Renováveis	56
2.5. ASPECTOS POLÍTICOS	57
2.5.1. Nações Unidas – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7	58
2.5.2. Políticas Públicas para Eletrificação Rural no Brasil	59
2.5.3. Políticas Públicas para Eletrificação Rural no Benim	60
2.6. ASPECTOS TÉCNICO-ECONÔMICOS	60
2.7. PROCESSOS DECISÓRIOS	61
3. MODELO DE ANÁLISE	64

3.1 CÔMPUTO E VALORIZAÇÃO DOS POTENCIAIS COMPLETOS (CVPC)	65
3.2. AVALIAÇÃO DE CUSTOS COMPLETOS (ACC- PADRÃO)	66
3.3. ONTOLOGIA	68
3.4. PROTÉGÉ	70
3.5. DESENVOLVIMENTO DO MODELO	71
4. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO	77
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
REFERÊNCIAS	86

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um fator determinante tanto do bem-estar do ser humano como do desenvolvimento de um país. De acordo com Reis (2015), ela desempenha um papel fundamental na vida humana: ao lado de transportes, telecomunicações, águas e saneamento. Compõe a infraestrutura necessária para incorporar o ser humano ao denominado modelo de desenvolvimento vigente.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008), o consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade. Reflete tanto o ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços, quanto a capacidade da população para adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados, como automóveis (que demandam combustíveis), eletrodomésticos e eletroeletrônicos (que exigem acesso a rede elétrica e pressionam o consumo de energia elétrica).

No entanto, a energia elétrica não está disponível a todo indivíduo. De acordo com a International Energy Agency (IEA, 2011), cerca de 1,3 bilhões de pessoas não tem acesso a eletricidade e aproximadamente 2,7 bilhões dependem de madeira, carvão, carvão vegetal ou resíduo animal para cozinhar e aquecer. Só na África, mais de 600 milhões de pessoas ainda não têm acesso à eletricidade e 70% das empresas citam a energia não confiável como principal obstáculo para fazer negócios no continente.

Segundo uma reportagem de The Washington Post de 2012, mais de 600 milhões de pessoas na África subsaariana não tinha acesso à eletricidade em 2012. Situado na região Oeste da África, de latitude 9.3077 e longitude 2.3158, o Benim é um país inscrito nesta lista dos países africanos que sofrem de um déficit energético. A República do Benim cobre uma superfície de 112.622 km² e a sua população foi estimada a 10,32 milhões de habitantes em 2013. Foi uma antiga colônia francesa e acedeu à independência em 1960.

O Benim é dividido em doze departamentos: o Littoral, o Atlantique, o Ouémé, o Plateau, o Mono, o Couffo, o Zou, as Collines, o Borgou, a Donga, a Alibori et a Atacora como ilustra a figura a seguir.

Figura 1 : Mapa do Benim



Fonte: Portal oficial do governo da República do Benim (2016).

É limitado ao norte pelo rio Niger, fronteira natural com a República do Niger, ao noroeste pelo Burquina Faso, ao sul pelo Oceano Atlântico, ao Leste pela Nigéria e ao oeste pelo Togo. Sendo um país localizado na região tropical, seu clima é quente e úmido, com duas estações de chuvas (de abril até julho e de setembro até novembro).

Em relação ao regime político, após a sua independência, o Benim sobreviveu a uma crise político-econômica que terminou em 1980 e levou a adoção do liberalismo econômico e de uma estrutura política democrática, que a partir de 1990 é baseada sobre uma Constituição que prevê um regime presidencial e uma Assembleia Nacional eleita por sufrágio universal. Desde então, o Benim construiu uma imagem de referência no tocante à democracia na África.

Durante a *CONFERENCE INAUGURALE DE JRSA 2013 (Journée de la Renaissance Scientifique de l'Afrique 2013)* 2013 em Cotonou (capital

econômica do Benim), Hounkpatin (2013, p.3) revelou que de 2003 a 2013, cerca de 60% dos consumos energéticos continuaram provindos de fontes energéticas como lenha e carvão, contra 35% para os produtos petroleiros e somente 5% para a eletricidade. Em média, a energia elétrica é acessível a somente 25% da população beninense, com menos de 4% nas regiões rurais. Quanto ao consumo das raras indústrias do Benim, ele é baixo e envolve menos de 5% do consumo total. Este cenário aponta para a necessidade do Benim desenvolver um planejamento energético adaptado a sua realidade que possa corrigir este déficit.

Para Goldemberg e Moreira (2005, p.216), o planejamento energético deve considerar, igualmente, não apenas a quantidade de energia a ser disponibilizada para a sociedade, mas também em que região ela é prioritária e de que forma pode ser acessível aos menos favorecidos.

Existem várias fontes para obtenção da energia elétrica, entre elas: o carvão, o petróleo, a fissão, o gás natural e, as fontes renováveis que compreendem as hidrelétricas, a biomassa, a energia solar, a eólica, a geotérmica, a fusão, o hidrogênio, as ondas, a térmica das marés, as marés, os óleos vegetais e o álcool. A utilização de cada uma deve estar associada à realidade de cada localidade e na dependência do Planejamento Energético.

Mais da metade do petróleo que o planeta possuía originalmente já foi explorado e as reservas disponíveis atualmente são limitadas (GOLDEMBERG; LUCON, 2006, p.11). Além disso, o uso destes recursos propicia danos tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente. Estas consequências englobam a poluição do ar, a geração de efeito de estufa e do aquecimento global, as chuvas ácidas, os acidentes ambientais que causam problemas de grandes proporções nos ecossistemas, como recentemente verificado no episódio de Fukushima (2011) no Japão. Assim a energia deve provir de diversas fontes energéticas, uma vez que, por razões de segurança de abastecimento e de preservação do meio ambiente, é proveitoso depender de recursos energéticos renováveis.

Para a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2008), é indiscutível a importância da energia no processo de desenvolvimento de uma nação. Vários países como o Brasil, optam em permitir a atuação do setor privado nesta área estratégica a fim de atender às demandas crescentes de energia elétrica. Já o

Benim adotou um novo plano de ação do governo que leva em conta uma política para corrigir o déficit crucial que tem sofrido o setor de energia elétrica, com a construção de centrais térmicas de 500MW até dezembro 2018.

Segundo reportagem do jornal Jeune Afrique, em 2016, o governo beninense concedeu um contrato de um ano a uma empresa de energia para manter a crise energética sob controle e reestruturar o setor energético. Esta empresa propõe a disponibilidade do gás natural ao Benim para aumentar a capacidade de produção da energia da Sociedade Beninense de Energia Elétrica (SBEE) a fim de compensar um déficit estrutural de 40 a 60MW por dia.

Com os avanços tecnológicos, é injusto que haja ainda na superfície terrestre, pessoas que não tem acesso à energia elétrica, insumo este, que possibilitou todo o desenvolvimento da sociedade ao estágio em que ela se encontra. Portanto, uma comunidade sem acesso a energia elétrica nem sequer pode aspirar a uma boa qualidade de vida e um desenvolvimento econômico.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA

A autora deste trabalho nasceu e viveu em Benim até 2012, fato que lhe confere algum nível de conhecimento sobre a realidade do cidadão beninense que tem que dormir na obscuridade e com calor. Viveu a realidade do estudante beninense que não consegue estudar a noite, nem revisar nas vésperas das provas ou exames. Viu dona de casa que mesmo tendo dinheiro não podia se oferecer o luxo de equipar a sua cozinha de máquinas eletrodomésticas por falta de energia.

Na Conferência de Abertura da Jornada da Renascença Científica da África 2013, em Cotonou, foi feito um relatório da causa da penúria da energia elétrica no Benim. A causa principal é o crescimento populacional tanto no Benim como em Gana, Costa de Marfim e Nigéria. Estes países, até 2013, forneciam cerca de 65% da energia necessária para suprir as necessidades do Benim. O aumento populacional e a falta de planejamento para suprir as

futuras demandas fomentaram uma insuficiência energética nestes países que têm cada vez mais dificuldade para atender a demanda energética do Benim.

Mediante a contextualização apresentada e diante da escassez da energia em Benim, identifica-se como problema de Pesquisa: atender as necessidades de consumo/geração de energia em comunidades distantes dos centros de geração e distribuição por meio de recursos energéticos disponíveis localmente, e como complemento decorrente, fornecer subsídios para uma estratégia de Planejamento Energético adequado para geração que não inclua somente a utilização de combustíveis fósseis para este fim.

Neste sentido, esta pesquisa pretende identificar como suprir as necessidades energéticas, tanto térmicas quanto elétricas a partir de recursos energéticos adaptados à realidade de uma comunidade para gerar energia elétrica privilegiando os seus recursos renováveis, a fim de resolver este problema de maneira eficiente e com o menor impacto ambiental possível.

1.2. OBJETIVO GERAL

Desenvolver um modelo de análise a partir dos diferentes recursos energéticos disponíveis em uma comunidade isolada para suprimento das necessidades de energias elétricas privilegiando os recursos renováveis.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar métodos para tomada de decisão, a participação de todos os atores envolvidos que interferem e os fatores socioeconômicos da comunidade.

- Identificar o potencial de geração de energia dos principais recursos energéticos disponíveis, suas formas de utilização e seus impactos ambientais, para avaliação e identificação de como os mesmos podem ser empregados em cada comunidade isolada.

- Identificar as ferramentas computacionais para auxiliar na organização do modelo que possibilite a determinação do recurso energético adequado a fim de atender a demanda energética.

1.4. JUSTIFICATIVA E PREMISA DA PESQUISA

Os atores públicos beninenses tentaram resolver este problema investindo na construção de novas usinas como o projeto de turbinas a gás de 80MW na cidade de Maria-Gléta lançado desde agosto de 2007 e que não entrou em serviço até agora. Também, no Benim, mais de 60% dos lares vivem em meio rural. As aldeias são isoladas e as casas são na maioria dispersas, o que torna complexo a eletrificação rural por ligação à rede convencional nacional.

A presente pesquisa pretende desenvolver um modelo de análise dos recursos energéticos existentes numa comunidade a fim de propor soluções eficientes para gerar energias elétrica e térmica, com o menor impacto ambiental possível. Este tema foi inspirado pela crise energética que o Benim está passando em função de uma estruturação não objetiva do seu sistema energético.

O modelo levará em conta a realidade econômica da comunidade. Como principal premissa, espera-se encontrar uma solução adaptada às realidades estrutural, ambiental, social e econômica de cada comunidade com a participação de todos os atores envolvidos, para propor uma solução aplicável a fim de suprir a sua necessidade energética.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

TCC1

Nesta primeira parte do Trabalho de Conclusão de Curso, o objetivo é analisar a demanda energética de uma comunidade isolada. Além disso, visa-se aprofundar o conhecimento teórico e prático dos recursos energéticos assim como avaliar os seus potenciais de geração de energia elétrica, identificar suas

formas de aproveitamento e os impactos ambientais resultantes da exploração destes recursos.

TCC2

A segunda parte do Trabalho de Conclusão de Curso apresentou as ferramentas de tomada de decisão e a ferramenta computacional PROTEGE que auxiliou na organização do modelo a fim de determinar o recurso energético adequado para atender a demanda energética de uma comunidade isolada. Por fim, foi testado e validado o modelo por meio da implementação de dois estudos de casos que já foram realizados.

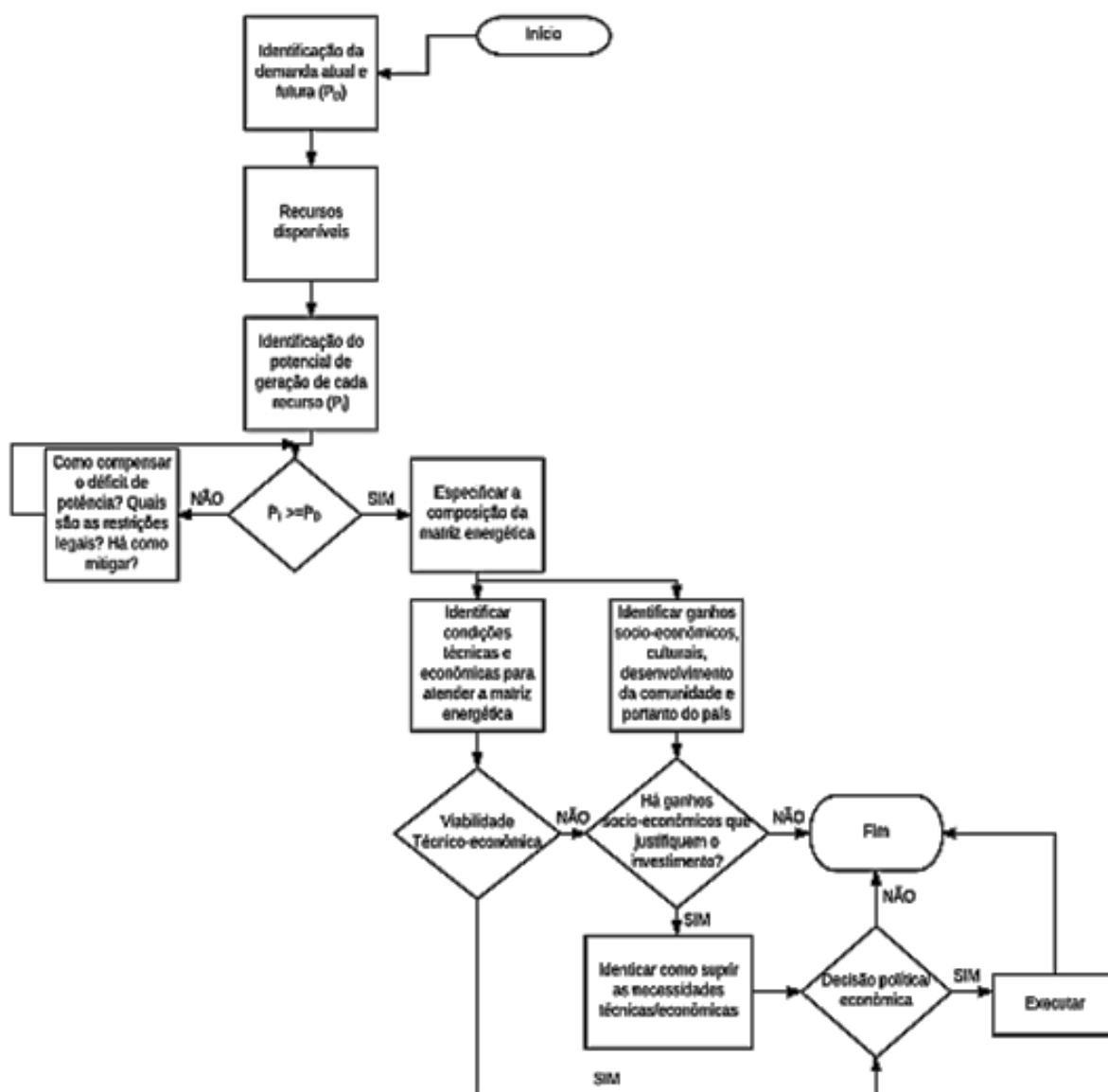
Em primeiro lugar, através de uma pesquisa bibliográfica foi efetuado um levantamento dos principais recursos energéticos e das tecnologias de geração de energia para correspondente aplicação. Portanto, as principais fontes de coleta de dados serão artigos científicos, livros e outras publicações disponíveis na internet selecionados de forma analítica. Complementarmente, foi realizada uma pesquisa sobre metodologia e processo utilizados na tomada de decisão para escolher a melhor forma de geração de energia.

A lógica de estruturação do modelo se baseou sobre o fluxograma da figura 2. Este modelo, produto final resultante desta pesquisa, cujo objetivo é de sugerir o melhor recurso para atender a demanda energética de uma comunidade isolada a partir de um conjunto de informações e de estudos de casos implementados em algumas comunidades.

As necessidades energéticas de uma comunidade são tanto elétricas quanto térmicas. Nesta pesquisa, são avaliados os recursos energéticos disponíveis na comunidade para suprir essas necessidades dando maior ênfase à geração de energia elétrica.

A figura 2 apresenta o fluxograma que mostra os grandes tópicos que são levados em conta durante o processo de coleta e análise de dados para elaboração do software.

Figura 2 : Fluxograma do modelo de análise.



Fonte: Autora (2018).

Nota-se a presença de tópicos como identificação da demanda (P_D) atual e futura que conduz ao levantamento de recursos disponíveis na localidade para energias elétrica e térmica, identificando o potencial de geração (P_i) de cada recurso. Em seguida, depara-se com o primeiro bloco de decisão que compare P_i ao P_D . Se P_i for maior ou igual a P_D , especificar a composição da matriz energética e depois identificar as condições técnicas e econômicas para implantar a matriz energética, assim como os ganhos socioeconômicos, culturais e de desenvolvimento da comunidade.

O bloco de condições técnicas e econômicas considerou a questionar a viabilidade técnica e econômica do sistema de geração a ser instalado. Sua

resposta positiva dirige um bloco de decisão política e econômica que depende de um investidor ou uma autoridade política a fim de levantar o investimento necessário para executar o projeto. Por outro lado, se o sistema é inviável, será fundamental tomar uma decisão se baseando sobre os ganhos socioeconômicos da comunidade que poderão justificar tal investimento, se eles não forem convincentes, o projeto deve aguardar certa melhoria na região. Caso contrário, o próximo passo será identificar como compensar as necessidades técnicas e econômicas antes de buscar o investimento.

A falta de investimento, também, é uma decisão que obriga a engavetar o projeto até conseguir o financiamento necessário para implantar o sistema. Existe também a possibilidade de P_i ser menor que P_D , deve-se compensar o déficit de potência analisando as restrições legais e outros recursos disponíveis até conseguir uma resposta favorável.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho de conclusão de curso (TCC) apresenta a seguinte estrutura de capítulos:

Capítulo 1- Introdução: foi apresentado o trabalho, destacando o tema e sua delimitação assim como o problema, os objetivos, as justificativas e procedimentos metodológicos para a realização da pesquisa.

Capítulo 2- Fundamentação Teórica: Neste capítulo, é apresentado os resultados da revisão bibliográfica efetuada a respeito dos recursos energéticos e das diversas fontes de geração de energia elétrica. Também, são revelados os impactos ambientais ligados à exploração dos recursos ou ao aproveitamento dos seus potenciais para a geração de energia.

Capítulo 3- Desenvolvimento do modelo: Aqui, são identificadas as ferramentas de tomada de decisão, mostrando como elas influenciam a decisão final e é apresentada a ferramenta computacional *PROTÉGÉ* que vai auxiliar na organização do modelo. Este último é concebido se baseando sobre a coleta de dados realizados no capítulo anterior.

Capítulo 4- Implementação do modelo: Neste capítulo, são implementados e registrados dois estudos de caso de planejamento energético em comunidades isoladas no editor *PROTÉGÉ* certificando o funcionamento do modelo desenvolvido.

Capítulo 5- Considerações finais: Para encerrar esta pesquisa, são resumidos os principais tópicos que foram abordados e numa visão futura, extrapolaram-se os possíveis trabalhos, derivados desta pesquisa, que poderão ser executados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são expostos os conceitos de comunidade isolada, de fontes de energia destacando as de geração de energias elétrica e térmica. Além disso, são apresentados os recursos energéticos e seus potenciais de geração de energia.

2.1. COMUNIDADE ISOLADA

Suprir a demanda de energia elétrica de uma “comunidade isolada” é um desafio no universo de planejamento energético. O termo referido designa um agrupamento de pessoas em uma região tão afastada que seria inviável a sua inclusão em um sistema elétrico interligado nacional para atender a demanda energética desta comunidade. Este fato não deveria afetar os direitos desses cidadãos, já que região distante ou não, eles permanecem no território nacional e, portanto, tem a sua contribuição no Produto Interno Bruto (PIB) e no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) que são fatores de avaliação do desenvolvimento de um país.

Para Rosa (2007), tratar uma comunidade de isolada é um simples critério de engenharia que indica uma conglomeração de pessoas aonde os serviços de eletricidade não são atendidos pelo sistema elétrico nacional ou pelo sistema elétrico de um país vizinho. Assim, a comunidade, em questão, é eletricamente isolada beneficiando de um sistema elétrico próprio para atender a demanda local. Considerando a inviabilidade dos custos de investimento, Mesquita (2014) enxerga este provimento de energia elétrica como um dilema para os países em desenvolvimento.

Nos países como a China, a Índia e o Brasil, os respectivos governos elaboraram e incentivaram a realização de programas de eletrificação rural para o atendimento de comunidades isoladas através de subsídios e redução de impostos. A maioria dos programas apoia o Sistema Isolado (SI) por meio da geração distribuída (GD) que propicia o melhor custo-benefício econômico

relacionado à localidade. O dimensionamento deste sistema impôs, primeiramente, o estudo da previsão de demanda da comunidade.

2.2. ANÁLISE DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA COMUNIDADE ISOLADA

A energia elétrica é predominantemente produzida, transmitida e utilizada em forma de corrente alternativa. Nesta configuração, ela não é diretamente armazenável. Portanto, é imprescindível entender as características da demanda local de eletricidade antes de dimensionar o sistema de geração. Segundo Muhon (2003), a estabilidade deste sistema, ou seja, seu funcionamento seguro é submetido à igualdade permanente e instantânea entre a geração e o consumo. Assim, ter uma previsão de demanda permite evitar que o sistema de geração seja subdimensionado ou superdimensionado.

A ANEEL (2000) identifica a demanda como sendo a média das potências elétricas reativas ou ativas, requeridas ao sistema elétrico pela quantidade da potência instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado. Steinmetz (2009) simplifica a demanda de energia ou carga do sistema ao somatório do uso de energia elétrica de cada usuário atendido por uma estação de fornecimento de energia. A demanda de uma comunidade depende de vários fatores e o mesmo autor enfatiza os fatores econômicos, temporais, climáticos e outros. Já, para Morante e Zilles (2003), estes fatores são:

- O nível de renda

Em geral, quanto maior a renda, maior é o consumo de energia elétrica. Apesar do fato que este fator não seja o dominante na demanda rural, ele é importante para uma previsão em longo prazo.

- Contato com centros urbanos e a televisão

Por natureza, o ser humano aspira a uma melhoria das suas condições de vida e de trabalho. O meio rural, infelizmente, é na maioria das vezes

esquecido nos programas de desenvolvimento dos países concentrando os investimentos nas cidades. Este fato é uma das causas do êxodo rural. Assim, é fácil observar que as famílias do meio rural, que por uma razão ou outra tem maior contato com os centros urbanos, tendem a consumir mais energia elétrica por tentarem copiar o estilo de vida urbano. Também, o acesso a meios de comunicação como a televisão favorece a assimilação de padrões culturais da sociedade criando necessidades e impondo outros modelos de vida no meio rural. Esta influência é notada na demanda por eletricidade.

- **Clima**

O clima é um fator que influencia muito o consumo de energia elétrica por causa das limitações de determinado sistema de geração. Nos casos onde a potência gerada varia em função do clima como num sistema fotovoltaico, os usuários devem diminuir o consumo conforme a irradiação solar vai baixando e também devem respeitar as limitações da bateria que atende o consumo noturno.

- **Variáveis arquitetônicas**

Estas variáveis envolvem o tamanho da moradia, a sua orientação e os materiais utilizados na sua construção. Quanto maior a moradia, maior é demanda de energia elétrica. A orientação e os materiais são as variáveis que permitem saber respectivamente se os moradores conseguem aproveitar a iluminação natural e a aeração natural.

- **Estrutura familiar**

Este fator abrange o número de pessoas na família e suas idades. Morante e Zilles (2000) observaram que geralmente quanto maior o número de pessoas na família, maior é o consumo de eletricidade, mas depende também da idade destas pessoas, pois os jovens tendem a consumir mais do que os adultos.

- **Atividade econômica**

É importante levar em conta os casos de uso produtivo da energia elétrica em uma atividade econômica para dimensionar o sistema de geração a fim de atender a demanda especificada.

- Grau de escolaridade e aptidão técnica

Este ponto é voltado ao nível de conhecimento das pessoas da comunidade. Sua importância releva do fato que um grau de escolaridade maior facilita a adaptação às novas tecnologias e a aprendizagem das noções de racionalização do consumo assim como as noções técnicas.

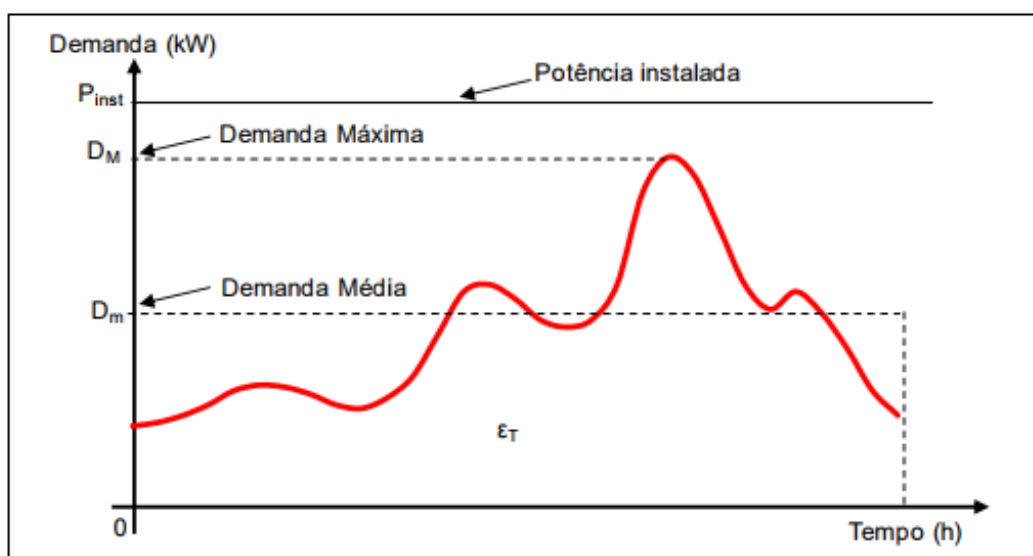
- Hábitos, conduta e forma de uso dos equipamentos

Este fator está ligado à cultura da comunidade que estabelece os hábitos e conduta das pessoas impondo, às vezes, uma certa regra de consumo.

Assim, uma análise da demanda exige pesquisa para saber as particularidades e práticas da comunidade. Em caso de expansão do sistema elétrico, ou seja, a comunidade já dispõe de eletricidade, mas a geração é insuficiente; a análise da demanda é mais fácil por existir dados técnicos como curva de carga que vão fornecer mais informação sobre o padrão de consumo da comunidade e ajudar a suprir a demanda reprimida. Segundo Souza et al. (2010), a curva de carga é a curva que apresenta a demanda D (em kW ou p.u.) em função do tempo t (em horas) $D(t)$, para um dado período de T .

A figura 3 apresenta um exemplo.

Figura 3 : Exemplo de curva de carga das demandas



Fonte: Adaptado de COTRIM (1992).

De acordo com Lima Filho (2001), a potência instalada ou carga instalada é a soma das potências nominais (potência registrada na placa da máquina ou aparelho) de todos os aparelhos elétricos presentes em um sistema ou instalação.

$$PI = \sum_{i=1}^n (P_{iA}) \quad (1)$$

PI: Potência instalada

P_{iA} : Potência nominal do aparelho nº i

n: Número de aparelhos instalados.

Sabendo que nem todos os aparelhos instalados são utilizados ao mesmo tempo, o termo potência demandada é atribuído a maior soma da potência elétrica individual dos aparelhos ligados simultaneamente, durante um período. Esta potência resulta do somatório da multiplicação da potência nominal do aparelho por um fator de demanda que é menor ou igual a 100%, isto é,

$$PD = \sum_{i=1}^n (P_{iA} \cdot F_{iD}) \quad (2)$$

PD: Potência demandada

P_{iA} : Potência nominal do aparelho nº i

F_{iD} : Fator de demanda do aparelho elétrico nºi

n: Número de aparelhos instalados.

O pico da curva $D(t)$ representa a demanda máxima (D_M) que sempre menor ou igual a potência instalada. Já, a demanda média (D_m), segundo COTRIM (1992), corresponde ao valor médio solicitado ao sistema durante um intervalo de tempo. A área calculada entre a curva e o eixo dos tempos através da equação (3) é igual à energia total (ϵ_T) consumida no período de tempo T. É essa quantidade de energia que é cobrada do consumidor.

$$\epsilon_T = \int_0^T D(t) \cdot dt \quad (3)$$

ε_T : Energia total consumida no período de tempo T (em kWh)

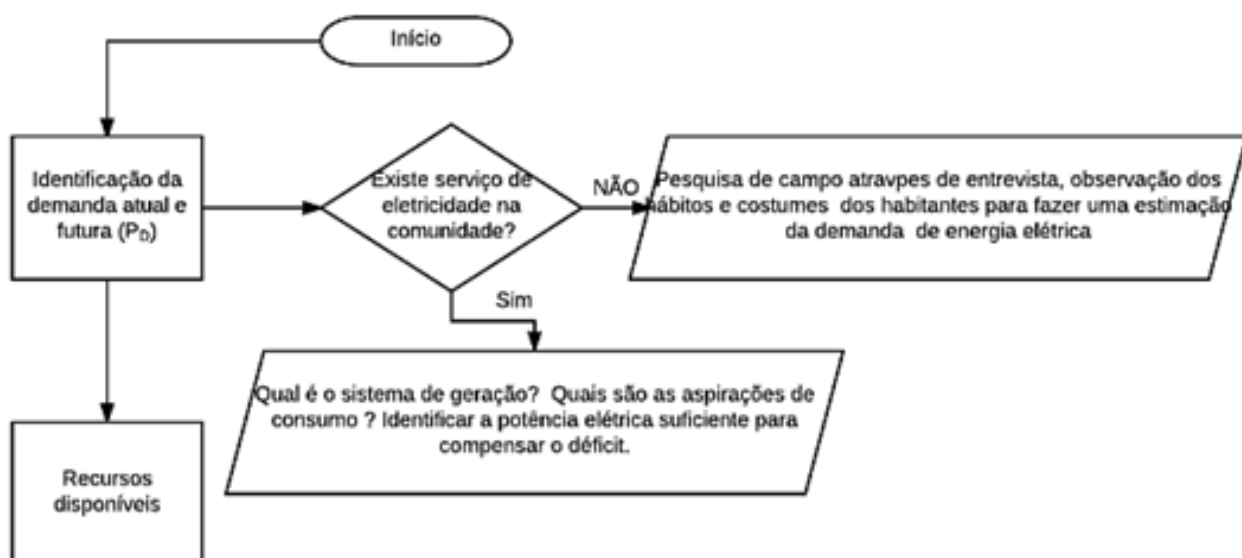
D(t): demanda em função do tempo.

A disponibilidade desses dados facilita o processo de expansão do sistema de geração existente. Para tanto, será necessário fazer um levantamento da demanda reprimida entrevistando as famílias sobre quais são as principais aspirações de consumo considerando aquelas que são viáveis. Uma aspiração de uso de chuveiro, por exemplo, deve ser desconsiderado pelo fato de exigir muita potência elétrica enquanto poderia ser solucionado pelas fontes de energia térmica.

Considerando a hipótese da comunidade não tem se beneficiado de nenhum serviço de eletricidade, a análise da demanda se baseia sobre uma pesquisa de campo através de entrevistas, observações dos hábitos e cultura da comunidade, para fazer uma estimativa da demanda atual e futura da comunidade. O sistema de geração deve ser dimensionado de acordo com as cargas a serem atendidas e os recursos disponíveis.

O fluxograma da figura 4 mostra o resumo deste item.

Figura 4 : Fluxograma da análise da demanda



Fonte: Autora (2018).

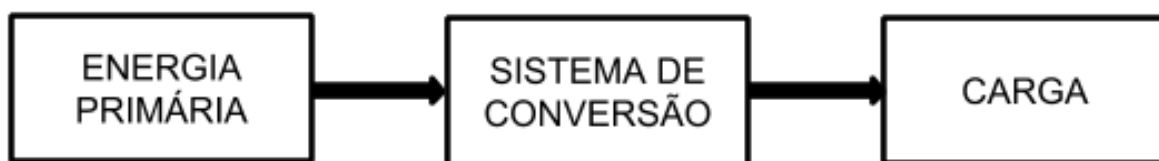
2.3. FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Entre as várias formas de associação de energia com a matéria, a eletricidade ocupa um lugar de destaque. Ela é a mais versátil e nobre de todas as formas de energia.

Em todas as manifestações, a energia primária apresenta-se, na natureza, numa forma ainda bruta e deve ser captada e adaptada para permitir seu aproveitamento útil.

O processo de aproveitamento dessas formas de energia tais como se encontram na natureza, para geração de energia elétrica, pode ser representado em três etapas: a energia primária, o sistema de conversão e a carga elétrica (ver Figura 5).

Figura 5 : Elementos básicos para geração de energia elétrica



Fonte: FARRET, Felix Alberto. – Santa Maria: Ed. da UFSM, (1999).

O sistema de conversão de energia aproveita a energia primária, ainda na sua forma bruta na natureza e a transforma em eletricidade numa forma útil e eficiente para alimentar a carga. As fontes de energia primária dividem-se em três categorias e são caracterizadas nas seguintes secções de acordo com a ordem de priorização que será levado em conta na estruturação do modelo de análise proposto.

2.3.1. Energias Renováveis

As energias renováveis, por serem as fontes de energia de recursos ilimitados e as menos nocivas ao meio ambiente, serão as primeiras a serem

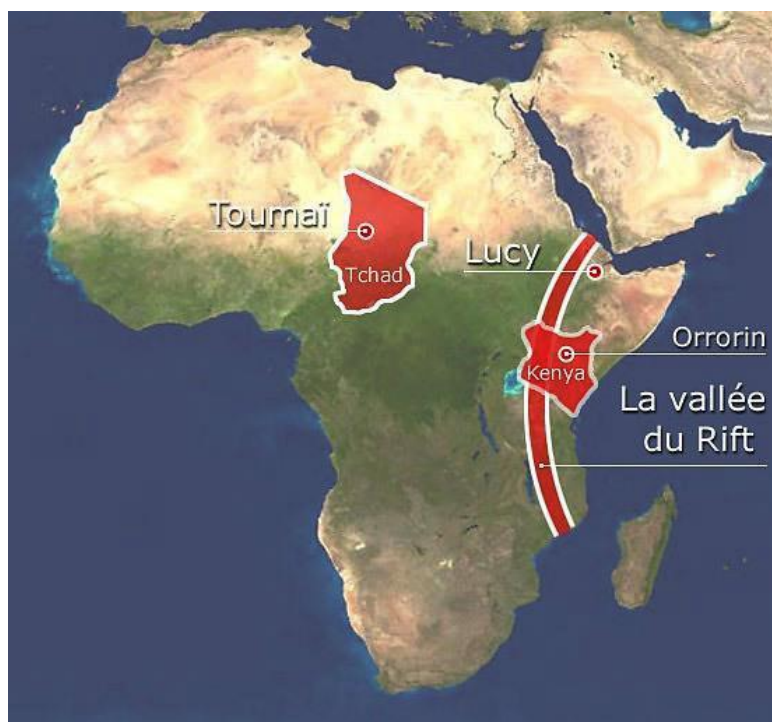
consideradas no planejamento energético. Elas abrangem uma variedade de recursos que serão apresentados na ordem crescente de probabilidade de disponibilidade.

2.3.1.1. Energia geotérmica ou geotermal

A energia geotérmica é geralmente definida como a energia proveniente do calor armazenado dentro da Terra, obtida particularmente em lugares chamados pontos quentes do planeta (inexistentes no Brasil) onde existem falhas geológicas, ou rachaduras que podem trazer para a superfície o calor de regiões a 2 ou 3 km de profundidade.

De acordo com Reis (2015), ela é mais significativa em locais próximos a vulcões e sujeitos a abalos sísmicos como nestes países: Itália, Islândia, Estados Unidos, México, Filipinas, Nova Zelândia, Japão, Turquia, Rússia, China, França, Indonésia, El Salvador e Nicarágua. É cada vez mais usada no Vale do Rift da África Oriental (figura 6)

Figura 6 : O Vale do Rift



FONTE: Merespace (2018).

A energia geotérmica é considerada renovável, mas pode ser esgotada se a taxa de aproveitamento for superior à recarga natural ou artificial. Existem duas formas de aproveitamento dessa fonte de energia, uma para produzir energia térmica e outra para energia elétrica. Esta última exige temperaturas elevadas e é produzida através do acionamento por vapor à alta temperatura e alta pressão de uma turbina a vapor acoplada a um gerador elétrico.

O conceito básico da energia geotérmica é similar ao de combustão externa das termelétricas a vapor, mas a eficiência do processo é considerada baixa pelo fato que as temperaturas máximas ultrapassam raramente 200°C contra os cerca de 550°C normalmente atingidos em usinas termelétricas de combustíveis fósseis. Segundo Rosa (2007), o vapor que resulta do aproveitamento da energia geotérmica é obtido:

- Injetando o fluido que é aquecido pelo calor do interior da crosta da Terra, em regiões com rocha quente e seca ou com magma;
- Através da energia hidrotérmica: extraíndo água quente ou vapor de reservatórios no interior da Terra que servem de fluido de trabalho ou para aquecê-lo;
- Explorando os reservatórios geopressurizados de onde é extraída uma mistura de água e gás natural que serve de fluido de trabalho.

A escolha da forma de aproveitamento da energia geotérmica dependerá da disponibilidade do recurso, da sua capacidade sustentável e da temperatura alcançada. Para Soares e Silva (2014), esta temperatura deve passar 150°C para produzir energia elétrica. A energia geotérmica oferece uma série de vantagens em relação às outras fontes de energias por ter um impacto ambiental reduzido e afetar uma área limitada. Uma característica especial que a destaca das outras fontes renováveis é que não é afetada pelas condições climáticas, como no caso das energias solar, eólica e hidráulica.

2.3.1.2. Energia dos oceanos: ondas e marés

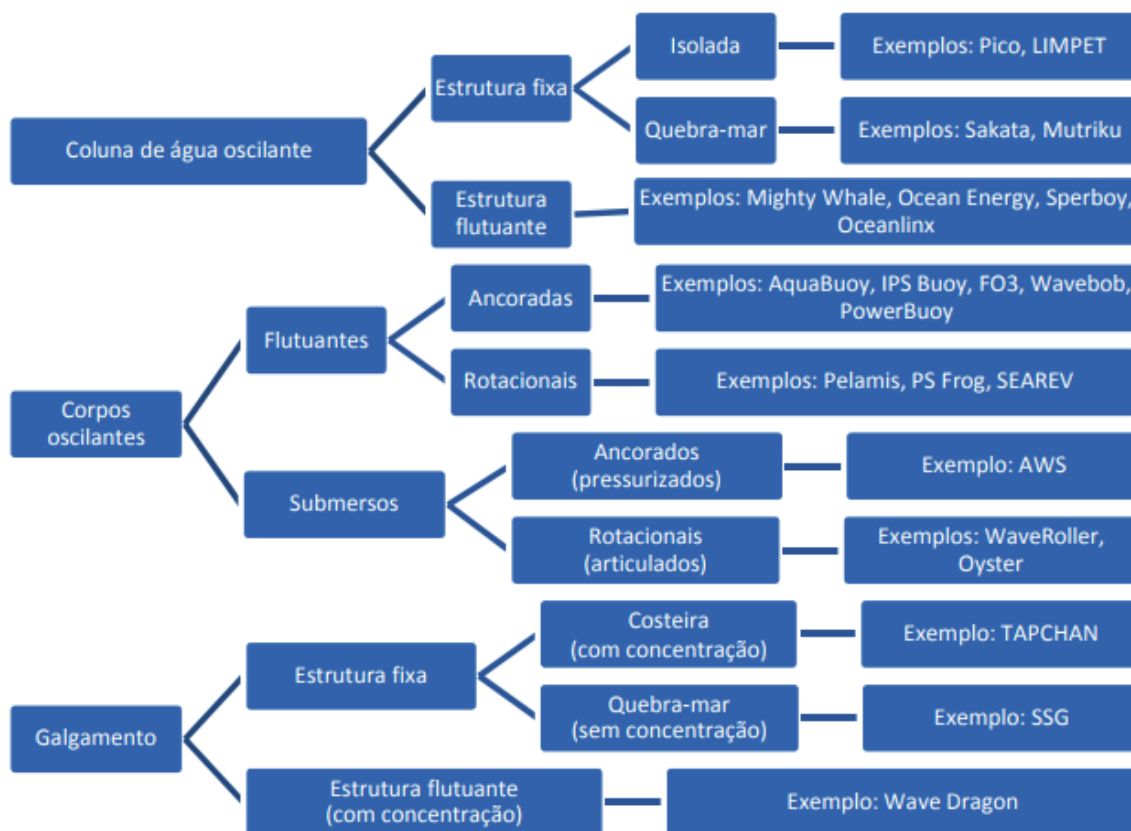
As ondas, as marés e os oceanos possuem reservas energéticas inesgotáveis, que não geram resíduos ou gases de efeito de estufa. O difícil é converter essa força oferecida em energia elétrica de maneira eficiente. A energia dos oceanos representa uma boa fonte alternativa a explorar nas ilhas e em comunidades pertos do mar. Este recurso está relacionado principalmente a: energia das ondas e marés e energia térmica dos oceanos.

- Energia das ondas

Os oceanos eficientemente agem como grandes coletores de energia dos ventos que incidem na superfície das ondas por um longo período, fazendo com que possam viajar por centenas de quilômetros com pequenas perdas. O movimento das ondas gera correntes imediatamente acima da água. Uma das formas de aproveitamento da energia dos oceanos é usar essas correntes, tanto na ida quanto na volta das ondas, para acionar turbinas.

Considerando o modo de conversão de energia das ondas em energia elétrica, distinguem-se três classes principais (confere figura 7): a coluna de água oscilante, os corpos oscilantes e galgamento. O princípio de funcionamento de cada uma das classes será resumido nos parágrafos a seguir.

Figura 7 : Principais tipo de tecnologias de conversão das energias das ondas e suas variações

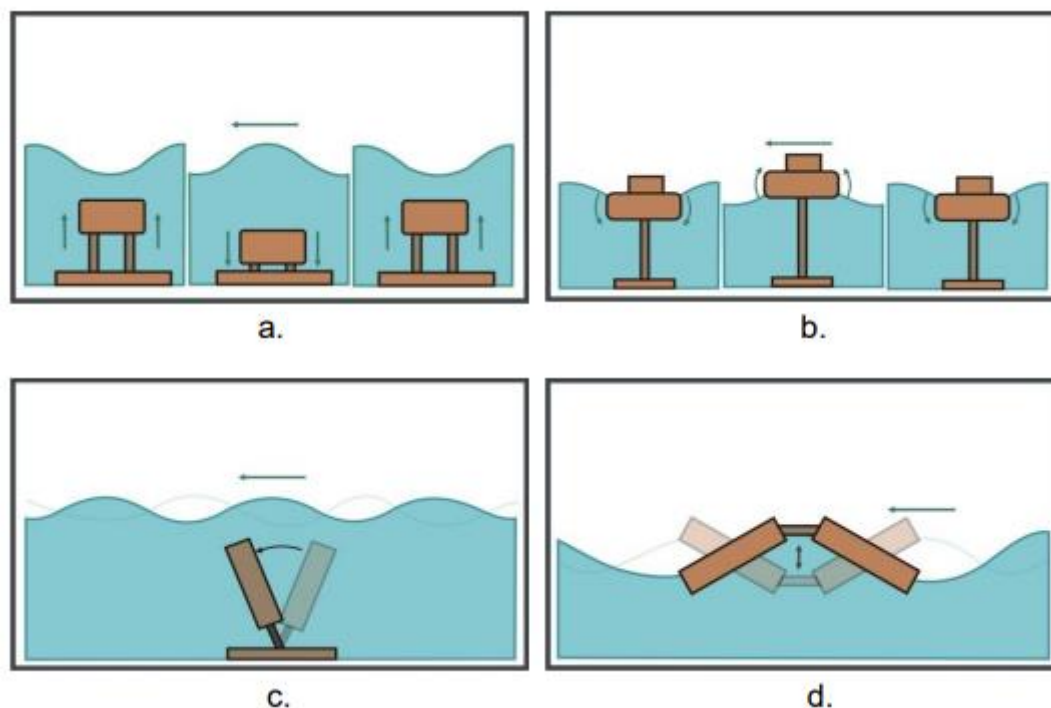


Fonte: COPPE/UFRJ (2014).

A coluna de água oscilante (OWC-Oscillating Water Column) é um dispositivo que se baseia sobre ação das ondas que empurra um fluxo de ar para dentro e para fora de câmaras colocadas em um corpo flutuante. A corrente de ar atinge alta velocidade depois de ter sido forçada a passar através de bocais e aciona turbinas de ar e geradores, absorvendo cerca de 80% da onda. Ela pode ser de estrutura fixa ou flutuante.

A passagem da onda nos corpos oscilantes provoca oscilações que impulsionam os sistemas hidráulicos, os quais acionam um gerador e produzem eletricidade. Distinguem-se os corpos oscilantes flutuantes e submersos que podem ser ancoradas ou rotacionais como ilustra a figura 8.

Figura 8 : Dispositivos de corpos oscilantes: submerso ancorado (a), flutuante ancorado(b), submerso rotacional (c), flutuante rotacional (d)



Fonte: Ronchi (2013).

No galgamento, as ondas são encaminhadas por meio de rampa para um reservatório que se encontra um nível acima do nível do mar onde elas acionam um gerador pelo movimento de uma turbina.

- Energia das marés

A energia das marés é derivada de forças gravitacionais da atração operada entre a Terra e a Lua e entre a Terra e o Sol. Portanto, o fenômeno da maré é periódico. A extração da energia das marés é considerada possível somente onde existem grandes variações e onde a geografia provê locais adequados para a construção de usinas marémotriz. Esses locais não são comuns. Existem aproximadamente vinte regiões adequadas no mundo para o desenvolvimento de usinas marémotriz.

Assim, é improvável recorrer a esta forma de energia para atender a demanda de uma comunidade primeiramente porque exige um investimento alto e secundamente, porque a energia gerada seria incomparável à demanda

existente. O que foge um pouco do objetivo deste trabalho que é suprir a demanda de energias elétrica e térmica de uma comunidade isolada e não de um país inteiro. Se a comunidade tiver uma maré considerável que possa permitir instalar uma usina, dever-se-á elaborar outro projeto voltado a exploração deste potencial analisando a possibilidade de incluí-lo na matriz energética nacional.

- Energia térmica dos oceanos

A conversão da energia térmica oceânica (OTEC) é um processo de conversão de energia que utiliza a diferença de temperatura entre as águas superficiais e profundas do oceano. Esta diferença de temperatura é usada para evaporar e condensar um fluido operante cujas mudanças correspondentes de volume e pressão servem para operar uma turbina e gerar energia elétrica.

As usinas de energia OTEC são aplicáveis nos trópicos, nas ilhas onde não existe plataforma continental, por causa da necessidade de se acessar as águas profundas do oceano. A diferença de temperatura mais ótima para a operação de uma usina de energia OTEC é da ordem de 22°C, e isto é obtido somente em oceanos tropicais, geralmente limitados a aproximadamente 20° de latitude norte e sul, usando água fria a profundidades superiores a 600m.

As duas principais configurações propostas para a OTEC são: o ciclo aberto e o ciclo fechado. O primeiro funciona a base de propano ou amônia enquanto o segundo se serve da água do mar. Uma usina de energia OTEC pode gerar de 1 a 10 MW.

2.3.1.3. Energia hidráulica: recursos hídricos

A água é considerada o recurso mais essencial à vida, em seus usos variados que garante a saúde humana, da fauna e flora de todos os biomas, e exerce um papel fundamental em atividades econômicas como a agricultura, a indústria, os transportes e a geração de energia elétrica. Os recursos hídricos

são águas superficiais ou subterrâneas disponíveis para qualquer tipo de uso de região ou bacia. Produzir energia elétrica a partir destes recursos é transformar a energia potencial, que depende da diferença de cotas, de certa quantidade de água em energia cinética quando esta se desloca para um ponto de cota inferior. A segurança energética de vários países, como o Brasil, se baseia sobre a exploração dos recursos hídricos.

A oferta destes recursos é limitada em diferentes partes do globo terrestre e tende a diminuir ainda, por causa dos efeitos severos das mudanças climáticas. No Brasil, apesar do país dispor uma das maiores reservas hídricas superficiais do planeta, observe-se um desequilíbrio regional na disponibilidade da água. A legislação vigente no país determina que os rios brasileiros são propriedade da União Federal, que concede o uso do potencial hídrico por um tempo determinado mediante o pagamento pelo uso do bem público. Portanto, mesmo que os potenciais hídricos sejam um recurso natural público, sua exploração para geração de energia elétrica é firmada em contrato de concessão entre a União e o empreendedor (público ou privado). Este último paga a compensação pelo uso de recursos hídricos para o município e estado nos quais o recurso hídrico está.

As plantas de geração de energia elétrica a partir dos recursos hídricos são classificadas em dois grandes grupos- as UHE, com maior capacidade de geração e grandes reservatórios acoplados, e as PCHs, com menor capacidade e pequenos reservatórios ou mesmo nenhum.

Segundo Terra et al. (2008, *apud* PERIUS e CARREGARO, 2012), o potencial hidroelétrico de um país está relacionado a morfologia do relevo e a quantidade de chuvas, isto é, quanto mais áreas de relevo e quanto maior for o índice pluviométrico da região, maior será a possibilidade de produção de energia elétrica a partir das usinas hidrelétricas. O Brasil define essas usinas como sendo capazes de produzir uma potência elétrica maior do que 30MW. A construção de uma UHE é complexa e exige um alto investimento, assim como um tempo relativamente longo entre sua concessão e entrada em operação.

De acordo com Oliveira (2017), a estrutura de uma UHE é composta resumidamente por:

- **Barragem**, que serve para reter a água com a possibilidade de desvio, regularização, armazenamento das vazões no curso do rio e alimenta a tomada d'água.
- **Descarregador de cheias**, que conduz e restitui a jusante, as vazões excedentes à necessária para a geração de energia.
- **Tomada d'água** é a estrutura que captura a água de montante e a conduz ao sistema de adução regulando a vazão de entrada.
- **Comportas hidráulicas**, elas podem ser manobradas manualmente ou por meio de talha movida por corrente elétrica e servem para reduzir o tempo improdutivo da UHE.
- **Sistema de baixa pressão** é frequente em centrais hidrelétricas de desvio (instalados em rio relativamente grande com boa declividade) e em centrais hidrelétricas de derivação por desvio (instalados quando os rios escoam em altitudes consideráveis em relação ao mar) e engloba canais, desarenadores, câmara de carga, tubulações, túneis e chaminé de equilíbrio. Ele serve para apresentar pequena declividade ao longo do circuito de adução.
- **Sistema de alta pressão** apresenta frequentemente alta declividade envolvendo túneis e tubulações individualmente ou de modo combinado.
- **Casa de força** aloja todas as máquinas e equipamentos necessários a geração de energia elétrica, assim como o pessoal técnico, administrativo.
- **Canal de fuga** tem como papel de dirigir e restituir a água turbinada ao leito original do rio.

Apesar de produzir energia elétrica a um preço competitivo, as UHE não são adequadas para as comunidades isoladas por causarem grandes impactos ambientais e gerarem uma potência elétrica que ultrapassam a demanda de energia elétrica da comunidade.

Já, Balarin e colaboradores (2004, *apud* PERIUS e CARREGARO, 2012) enxergavam o aproveitamento de potenciais hidráulicos de pequeno porte como uma alternativa cada vez mais viável, não somente por causa da

falta de recursos econômicos para a implantação de grandes usinas, mas, sobretudo pela capacidade de geração dos centrais de pequeno porte.

A Resolução da ANEEL nº673/2015 define as PCH como os empreendimentos destinados a autoprodução ou produção independente de energia elétrica, cuja potência seja superior a 3MW e inferior ou igual a 30MW, com área de reservatório de até 13km², excluindo a calha do leito regular do rio. Para Abarello (2014), as PCHs constituem projetos com menor complexidade técnica cujo prazo de execução não ultrapassa 24 meses com um investimento de R\$150 milhões em média. O custo da geração de energia elétrica com PCHs é maior do que a geração com UHE. No entanto, as PCHs proporcionam menor impacto ambiental e tem se beneficiado de incentivo governamental no âmbito de desenvolvimento sustentável.

As Pequenas Centrais Hidrelétricas têm o mesmo modo de funcionamento que as UHEs e possuem três ramos de classificação:

❖ De acordo com a capacidade de regularização, distingue-se:

- PCH a Fio de água

Este tipo de PCH não envolve a construção de reservatórios e faz um aproveitamento do desnível natural do curso de água. Segundo REIS (2003), a PCH a fio de água permite a passagem contínua do rio com uma capacidade nominal estável. Assim, a PCH a fio de água é empregada quando as vazões de estiagem (período prolongado de baixa pluviosidade, ou sua ausência) do rio são iguais ou maiores que a descarga necessária à potência a ser instalada para atender a demanda máxima prevista.

- PCH de acumulação diária, com regularização diária do reservatório

No Boletim Legislativo nº27 (2015), os autores justificam os investimentos em barragens pela incerteza do regime de chuvas. As represas servem para acumular água nos períodos de maior pluviosidade e para transferirem esse estoque ao longo do tempo, suprimindo a demanda em períodos de escassez. Nestes tipos de PCHs, as vazões de estiagem do rio são inferiores à necessária para suprir a demanda máxima e o reservatório compensará a água faltante para a vazão regularizada.

- PCH de acumulação diária, com regularização mensal do reservatório

Aqui, a compensação é feita se baseando sobre os dados de vazões de estiagens médias mensais.

- ❖ Segundo o sistema de adução:

Existem duas opções que devem ser analisadas em fase com as condições geológicas e topográficas do local de aproveitamento do potencial hidráulico de modo a escolher a solução mais barata. Albarello (2014) recomenda a PCH com adução em baixa pressão através de escoamento livre em canal/alta pressão por meio de conduto forçado para sistemas de adução longos quando houver inclinação da encosta e as condições das fundações forem favoráveis. Enquanto, para sistemas de adução curtos, ele indica a PCH com adução em baixa pressão por intermédio de tubulação/alta pressão através de conduto forçado.

- ❖ Quanto à potência instalada e altura do projeto:

A tabela a seguir apresenta a classificação das PCHs segundo a Eletrobras (2013) considerando conjuntamente a potência instalada e a queda do projeto.

Tabela 1 : Classificação das PCHs quanto à potência instalada e queda do projeto

CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS	POTÊNCIA – P (kW)	QUEDA DE PROJETO – Hd (m)		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
Micro	$P < 100$	$Hd < 15$	$15 < Hd < 50$	$Hd > 50$
Mini	$100 < P < 1.000$	$Hd < 20$	$20 < Hd < 100$	$Hd > 100$
Pequenas	$1.000 < P < 30.000$	$Hd < 25$	$25 < Hd < 130$	$Hd > 130$

Fonte: Eletrobras (2013).

A energia hidráulica da queda de água é convertida em energia mecânica pelo acionamento das turbinas. Encontra-se uma variedade de formas e tamanhos de turbinas hidráulicas. As turbinas de ação convertem, sob

pressão atmosférica, a energia hidráulica em energia cinética para depois de incidir nas pás do rotor se transformar em energia mecânica. Já nas de reação, o rotor é completamente submerso na água. Quando escoar a água, observe-se uma diminuição de pressão e de velocidade entre a entrada e a saída do rotor. A tabela 2 mostra uma classificação de turbinas de acordo com a faixa de quedas.

Quadro 1: Classificação de turbinas de acordo com a faixa de quedas

Tipos de turbina		Aplicação
Pela conversão de energia	Pela direção do fluxo	Faixas de queda (m)
Ação	Pelton	100-1770
	Turgo	50-400
Reação	Kaplan	03-80
	Francis	10-700
	Fluxo radial	100-700

Fonte: Adaptado de Merigue e Silva (2013).

Para Kanayama (2007), a mais usada é a Francis por ser adaptável tanto para locais com baixa queda quanto para aquelas de alta queda. Rosa (2007) especifica que as micro centrais hidrelétricas utilizam tecnologias economicamente acessíveis como a bomba invertida, as turbinas cinéticas e as turbinas do tipo Michell-Bunki cuja potência nominal não passa de 20kW.

De Souza (1999) ressalta que o detalhamento do tipo de turbina hidráulica a ser utilizada depende da potência hidráulica fornecido no local, da altura da queda de água e da vazão em m^3/s ou $l.s^{-1}$. Albarello (2014) apresentou a fórmula de dimensionamento do potencial hidroenergético de um local:

$$P = 9,81 \cdot \eta \cdot Q \cdot H \quad (4)$$

Onde:

P= Potência Efetiva (kW)

η = Rendimento do conjunto turbina e gerador

Q= Descarga (m^3/s)

H= Queda Líquida (m)

2.3.1.4. Energia da biomassa

A biomassa é um recurso renovável proveniente de matéria orgânica (animal ou vegetal) que é utilizada para a produção de energia em vários países. De acordo com Gama (2014), a biomassa é qualquer matéria que possa ser convertida em energia mecânica, térmica ou elétrica e sendo um recurso produzido em meio rural, pode participar na redução do custo de energia elétrica da localidade. Ela pode ser aproveitada como combustível em três formas: sólida (lascas de madeira), líquida (etanol) e gasosa (biogás). (NETO e RANGEL 2011).

O autor salienta que além de produzir energia, esta fonte concede um outro grande benefício pela utilização do lixo orgânico ou de efluentes líquidos para produzir combustíveis industriais ou automotivos preservando, assim, o meio ambiente.

Muniz (2015) enxerga a introdução da energia de biomassa na matriz energética como uma estratégia de aproveitamento de recursos disponíveis e dispersos na superfície terrestre, contrariamente aos combustíveis fósseis.

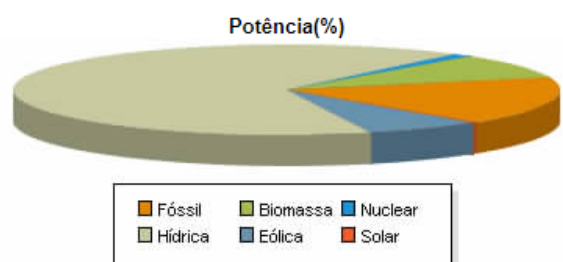
A energia da biomassa foi uma das primeiras fontes de energia usadas na história da humanidade. Em 1850, ela representava 85% do consumo mundial de energia (GOLDEMBERG, 2009), diretamente empregada para produzir o calor através da queima do recurso.

Nos países em desenvolvimento como o Benim, esta forma de aproveitamento da energia da biomassa é ainda predominante e sua grande parcela serve para a cocção de alimentos. Já nas nações desenvolvidas, nota-se uma participação significativa da biomassa na matriz energética do país.

No Brasil, a biomassa ocupa o terceiro lugar nas fontes de geração de energia elétrica, atrás apenas da energia hídrica e da energia gerada através do fóssil, com uma contribuição de 8,77% (ANEEL, 2017) como ilustra a tabela a seguir.

Quadro 2: Fontes utilizadas no Brasil-fase: Operação

Fontes utilizadas no Brasil - Fase: Operação				
Origem	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
Fóssil	2398	28.177.039	26.893.533	17,27
Biomassa	536	14.313.827	14.206.367	8,77
Nuclear	2	1.990.000	1.990.000	1,22
Hídrica	1268	106.722.038	99.397.882	65,42
Eólica	470	11.551.739	11.498.043	7,08
Solar	60	386.248	311.732	0,24
Total	4734	163.140.891	154.297.558	100



Fonte: ANEEL (2017).

Gomes et al (2009) relatam que o uso da energia da biomassa ocorre principalmente, em sistemas de cogeração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica. Para produzir energia elétrica, a biomassa serve de combustível substituindo os combustíveis fósseis nas usinas termelétricas.

Nascimento e Alves (2016) revelam a existência de várias tecnologias para gerar energia elétrica a partir da biomassa, onde o princípio de funcionamento básico de todas elas se resume a conversão de matéria orgânica em um produto intermediário que quando aplicado a uma máquina motriz, faz com que esta gera energia mecânica e move o gerador. O aproveitamento da energia da biomassa, é possível graças a turbina a vapores, turbina a gás, motor a gás, motor a gás e ciclo combinado ou célula combustível.

Segundo Freitas (2016), para as localidades isoladas que beneficiem de uma disponibilidade de biomassa para a geração termelétrica, a utilização de motores de combustão externa do tipo Stirling oferece um aproveitamento da combustão direta da biomassa. A energia resultante da combustão e o poder calorífico da biomassa dependem da umidade contida no recurso. Por exemplo, o poder calorífico da madeira duplica se o seu teor de umidade de 50% for diminuído a 20% (COUTO et al., 2004).

O princípio de funcionamento do motor de Robert Stirling se baseia sobre um ciclo fechado, em que o gás de trabalho é mantido dentro de um

cilindro e o calor é adicionado e retirado do espaço de trabalho por intermédio de grandes trocadores de calor.

A exploração da biomassa exige uma análise do tipo disponível e do seu potencial energético que varia em função do tipo e do processo de conversão utilizado. Freitas (2016) distingue três classes de biomassas:

- **Biomassa energética florestal**

Segundo Uhlig (2008), a biomassa das florestas constitui uma fonte de imenso potencial energético no mundo, sendo uma das primeiras fontes a serem utilizadas pelo homem desde a antiguidade. Ela pode ser nativa ou plantada e envolve a madeira (lenha), carvão vegetal, galhos, tronco, ramo, folhas, casca, raízes e todo o resíduo orgânico que venha a ser utilizado das florestas. A tabela 4 apresenta a densidade e o Poder Calorífico Inferior de alguns subprodutos da biomassa florestal.

Tabela 2: Densidades e poderes caloríficos de Biomassa florestal

Tipo de Biomassa	Densidade (kg/m ³)	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)
Lenha Catada	300	3.100
Lenha Comercial	390	3.100
Carvão Vegetal	250	6.460
Lixívia Negra	—	2.860
Resíduos de Eucalipto	374	4.024
Resíduos de Pinus	350	4.174

Fonte: MME, Plano Nacional de Energia 2030, Ministério de Minas e Energia (2008).

Para Soares e Oliveira (2006), a biomassa florestal oferece algumas vantagens em relação aos outros tipos, como o baixo teor de cinza e enxofre e o baixo custo comparando ao seu poder calorífico. Gomes (2016) enfatiza que o potencial energético da biomassa florestal está relacionado à sua quantidade de celulose e lignina e ao seu baixo teor de umidade.

Antes de incluir este recurso no planejamento energético, é importante verificar a sua sustentabilidade. Nogueira (2005, *apud* SILVA et al., 2012) caracteriza a sustentabilidade da biomassa a partir da relação entre oferta e

demanda (figura 9). Assim, se a demanda energética supera a oferta, o recurso não é sustentável. No caso contrário, ele pode ser sustentável.

Figura 9: Condições de Sustentabilidade



Fonte: Nogueira (2005, *apud* SILVA et al., 2012).

Estima-se o índice que relaciona a quantidade total de biomassa e a quantidade de resíduos seja em torno de 20% (CENBIO, 2008). Isto significa que ao cortar uma árvore de 1000 kg, obtém-se cerca de 200 kg de resíduo florestal. A Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável (ABIB, 2015) denomina de biomassa florestal primária, os materiais vegetais provenientes das operações silvícolas como: podas, desbastes, cortes fitossanitários, cortes finais ou intermédios entre outros. Enquanto, a matéria orgânica residual, que envolve a costaneira, serragem, pó de serra, licores negros, recortes, aparas, resultante dos processos da indústria de transformação e processamento de madeiras é considerado de biomassa florestal secundário.

A exploração da madeira é a principal causa do desmatamento. Lembrando que a característica renovável de um recurso é diretamente ligada a sua capacidade de regeneração, de reposição; é importante levar este fato em conta ao incluir a biomassa florestal no planejamento energético de curto, médio e longo prazo com o objetivo de minimizar os impactos ambientais resultantes da sua exploração.

Uhlig (2008) apoia esta ideia destacando a renovabilidade como um atributo próprio da fonte de energia, enquanto a sustentabilidade é um atributo ligado ao uso desta fonte. Para o mesmo autor, o poder calorífico (quantidade de energia liberada pelo combustível por unidade de massa) da madeira em forno varia muito pouco para diferentes espécies de árvores, e seu potencial energético é relacionado à umidade do recurso. A exploração da biomassa

florestal costuma ser limitada por lei ou regulação ambiental a fim de preservar as florestas e a biodiversidade.

O aproveitamento energético da biomassa florestal é possível através das conversões termoquímicas simples como a combustão direta e carbonização, ou das rotas complexas para produção de combustíveis líquidos e gasosos, tal como, metanol, etanol, e licor negro. (EPE, 2014).

- **Biomassa energética agrícola**

Em vários países, como o Brasil, a agricultura constitui uma das principais bases da economia. Além de ser uma atividade do setor primário vital para suprir as necessidades alimentícias do ser humano, ela gera resíduos que podem ser empregados para produzir calor, energia elétrica e combustível a partir do bioprocessamento. Portanto, há uma grande probabilidade de encontrar a biomassa energética agrícola nas comunidades isoladas.

Projetar um sistema de aproveitamento dos resíduos resultantes da atividade agrícola para gerar energia elétrica, exige um conhecimento do tipo de resíduos, a quantidade gerada (volume da safra) e sua concentração. Após a análise de 20 plantas de usinas geradoras de energia elétrica de 10MW até 79MW a partir da biomassa, Wiltsee (1999) revelou quatro pontos importantes para este tipo de empreendimento:

- 1) Custo da biomassa: Ele deverá ser o menor possível
- 2) Manuseio do combustível: Esta parte deverá prever um armazém para a biomassa que possa evitar o mau cheiro, o crescimento das pragas e fungos assim como a flutuação da umidade.
- 3) Flexibilidade no uso de combustíveis: Este item se justifica pela sazonalidade dos produtos agrícolas e pelas constantes alterações de oportunidades econômicas fazendo com que o sistema seja indiferente à mudança do tipo de biomassa.
- 4) Localização: Aqui, o autor demonstra a importância do custo de transporte que é muito alto para distância além de 30km e proibitivo para 150 km. Portanto a localização da usina deve levar em conta não

somente a distância, mas também o bem-estar da vizinhança que pode ser incomodado pelo cheiro e pelo barulho.

Algumas culturas, mesmo que apresentam safras elevadas, geram resíduos insuficientes para seu aproveitamento energético, tornando a sua exploração inviável. A tabela abaixo (tabela 5) apresenta o poder calorífico inferior das culturas cujos resíduos costumam ser empregados para gerar energia elétrica.

Quadro 3: Poderes Caloríficos de alguns combustíveis

Resíduos das Culturas	Poderes Caloríficos Inferiores (kcal/kg)
Bagaço de Cana-de-Açúcar (com 20% de umidade)	3200
Palha de Cana-de-Açúcar (considerando 50% de teor de umidade)	3105
Casca de Arroz	3200 ¹
Palha de Arroz	3821 ¹
Capim-Elefante	4200 ¹
Palha do Milho	4227 ¹
Palha de Soja	3487 ¹
Caroço de algodão (com 10% de teor de umidade)	3800

FONTE: Aalborg (2008), Plano nacional de Energia 2030 (2008), Gauthier (1986).

O poder calorífico inferior depende do teor de umidade contida na amostra do resíduo e determina o potencial energético do mesmo. O Ministério de Minas e Energia (MME) do Brasil através da Empresa de Planejamento Energético (EPE, 2009) estabeleceu uma base teórica térmica 1 kWh=3132kcal, ou seja 1 MWh=0,3132tep (tonelada equivalente de petróleo), correspondente ao óleo combustível queimado numa usina termelétrica com rendimento de 27,5%. O petróleo costuma servir de referência para análise do potencial energético da biomassa com seu poder calorífico de 10000 kcal/kg. Deduz-se, então, uma equação para o cálculo do potencial energético da biomassa:

$$E = Q \cdot PCI$$

¹ Considerando 15% de umidade.

Onde, E= Energia em kcal

Q= Quantidade de resíduos disponível em kg

PCI= Poder Calorífico do resíduo em kcal/kg.

A partir da base térmica, obtém-se:

$$P = \frac{E}{3132}$$

Com: P= Estimativa do potencial de produção de energia elétrica do resíduo em kWh

E= Energia em kcal.

- Biomassa energética derivada de rejeitos urbanos e industriais

Considera-se, nesta parte, o último grupo de biomassa que envolve os lixos urbanos e os rejeitos resultantes das atividades industriais que não são agroindustriais. É provável encontrar lixos urbanos e industriais perto ou em uma comunidade isolada, pelo fato de as autoridades, muitas vezes, estarem mais preocupados pelo saneamento das grandes cidades e acabam desacatando os seus resíduos em regiões afastadas, recuadas. Assim, essa falta de política de gestão dos lixos favorece a criação dos lixões que não somente constituem um perigo para o meio ambiente, mas também para os seres humanos (comunidades isoladas) que morrem ao redor. Além disso, será levada em conta também a capacidade energética dos esgotos domésticos e dos dejetos animais caso a atividade de criação animal seja predominante na comunidade. Julga-se importante, priorizar o aproveitamento dos lixões para produzir energia elétrica caso exista uma comunidade ao redor.

Segundo Preto e Mortoza (2010), o lixo urbano se apresenta como um agrupamento de metais, plásticos, vidro, resíduos celulósicos e vegetais e matéria orgânica, que é convertido em energia elétrica por meio da digestão anaeróbica ou da gaseificação.

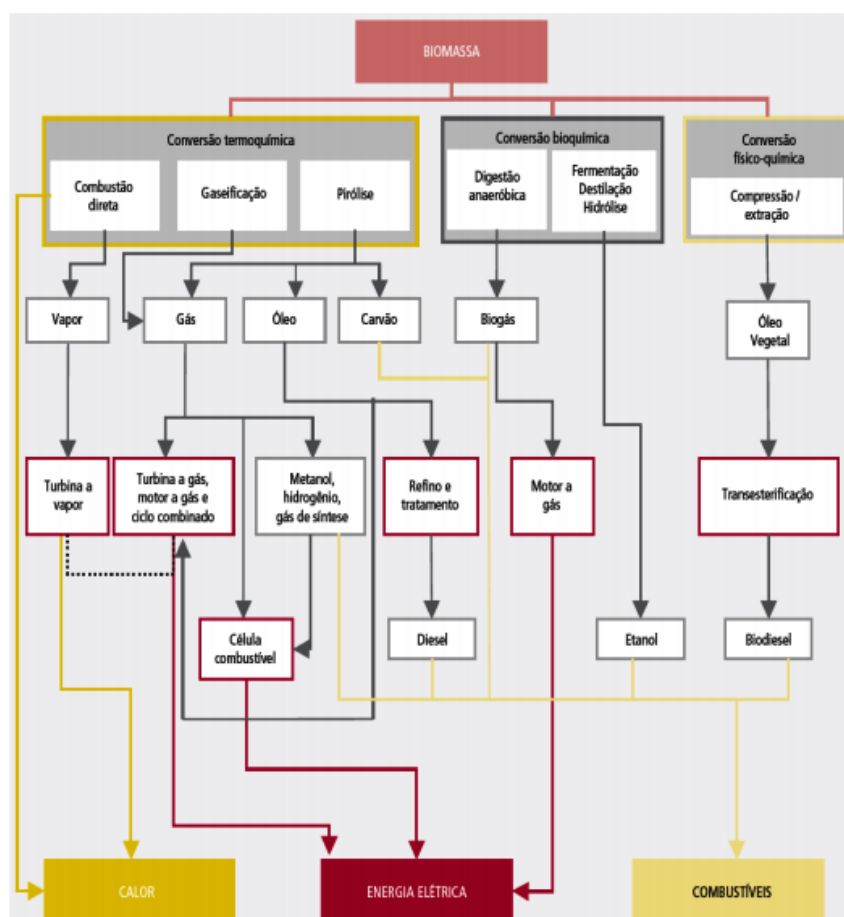
- Processos de conversão energética

A conversão da biomassa em energia se beneficia de uma diversidade de matérias-primas e de tecnologias e possíveis processos de geração.

Segundo Castanho et al. (2016), os diferentes sistemas de conversão apresentam diferentes níveis de eficiência energética, custos de instalação e operação e impacto ambiental. Os mesmos autores reforçam a importância da adequação de cada processo através de uma dinâmica que leve em conta a infraestrutura, as condições da região, as características e condições particulares de cada processo. Existem muitos caminhos para a utilização da biomassa na geração de energia elétrica.

Distinguem-se três tipos de processos de conversão. A conversão termoquímica da biomassa abrange a combustão direta, a gaseificação e a pirólise, a conversão físico-química inclui a prensagem, extração e esterificação e a bioquímica cobre a digestão anaeróbica, fermentação e hidrólise como ilustra a figura a seguir.

Figura 10 : Rotas de conversão energética da Biomassa



Fonte: EPE, Plano Nacional de Energia 2030 (2007).

2.3.1.5. Energia eólica: vento

A energia do vento procede da energia cinética do vento, que se desloca por causa das diferenças de pressão atmosférica entre as diversas regiões devido ao aquecimento dos gases da atmosfera. Seu aproveitamento sucede da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação por meio de turbinas eólicas para gerar energia elétrica.

Para tanto, é importante verificar alguns parâmetros que influenciam o rendimento do empreendimento eólico. Segundo Bailão (2016), fora a condição necessária para a conversão eficiente que constitui a existência de um fluxo constante e velocidade mínimas de vento, existem fatores como a densidade do ar, velocidade média do vento, área do rotor do aerogerador e rugosidade do terreno que devem ser considerados para estimar o potencial eólico de uma área específica.

Mathias (2006) especifica que o vento deve ter uma velocidade e uma direção dada. Assim, as velocidades médias anuais de vento acima de 6m/s medidas a 30 metros acima do solo são exploráveis e a velocidade média acima de 7m/s apresenta um forte indício de um bom recurso para geração de grande porte. Copel (2007) confirma que locais com velocidade média anual acima de 6,0m/s são viáveis tecnicamente para a implantação de sistemas eólicos. Todavia, o estudo realizado por Sato (2015) revela a possibilidade de implantar um micro empreendimento eólico para produzir energia elétrica com ventos a partir de 2,75m/s.

Distingue-se dois tipos de energia eólica: *Onshore* e *offshore*. Enquanto, a energia eólica *onshore* envolve sistemas localizados fisicamente em terra, a *offshore* abrange os sistemas de produção de eletricidade a partir de turbinas instaladas sob uma superfície aquática (mar, oceanos ou lagos). Para atender as demandas das comunidades isoladas, devem-se implantar sistemas isolados que tem a característica de não estarem ligados à rede elétrica. Portanto, estes sistemas devem prever um sistema de reserva de energia (baterias) que possa suprir a demanda em caso de escassez. De acordo com Ricardo et al.(2015), um sistema isolado alimentado através da energia eólica é basicamente composto por 4 elementos: o aerogerador que

pode ser de rotor de eixo vertical ou horizontal, os controladores de carga que garantem o devido abastecimento das baterias, os inversores que assumem a conversão de energia CC em CA e elevam a tensão e as baterias como ilustra a figura 11. Segundo Seixas (2016), a potência disponível no vento é calculada pela equação:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot u^3$$

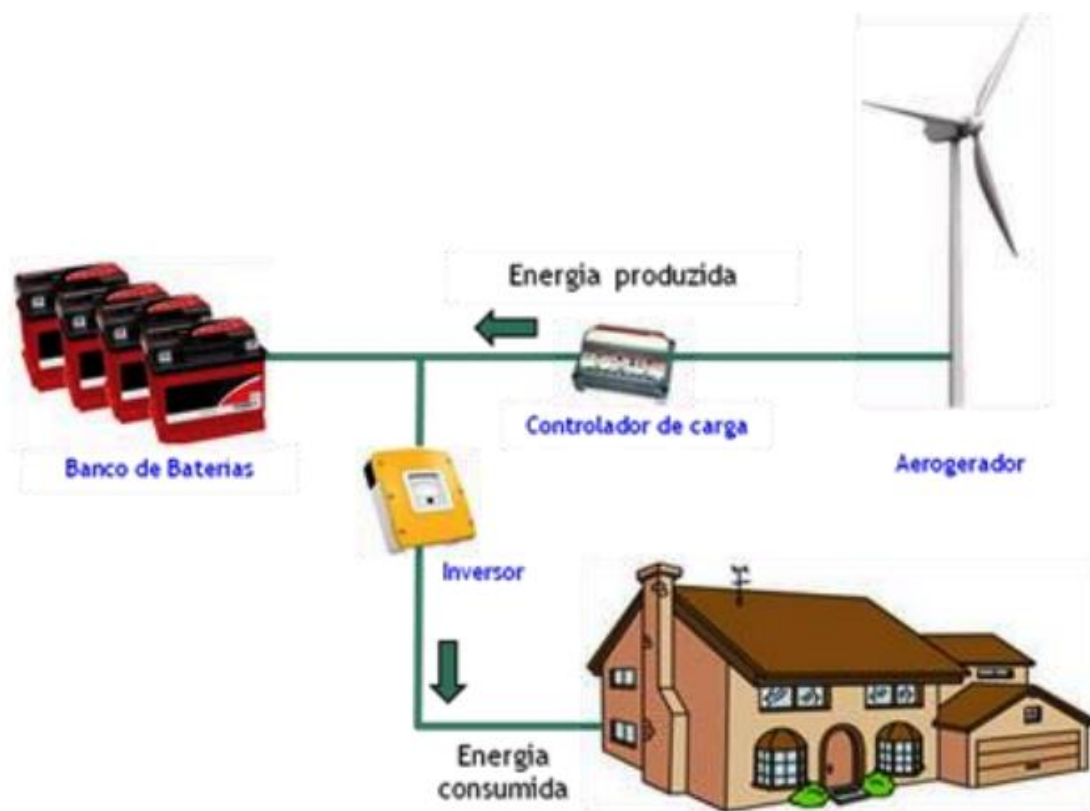
Onde: P= potência disponível em W

ρ = massa volumétrica do ar= 1,25kg/m³.

A= área varrida pelas pás do aerogerador em m²

u = velocidade em m/s.

Figura 11 : Sistema de Geração eólica isolada



Fonte: Viridian (2014, *apud* RICARDO et al., 2015).

2.3.1.6. Energia solar: sol

De acordo com Ricardo et al. (2015), nenhuma fonte de geração de energia elétrica é tão abundante quanto o sol. Segundo Silva e Carmo (2017), o planeta Terra recebe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar. Os mesmos autores afirmam que esta quantidade corresponde a 10 mil vezes o consumo mundial de energia neste período. Além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, o Sol constitui uma fonte inesgotável de energia elétrica para a humanidade. Assim, existe uma forte probabilidade de disponibilidade desta fonte de energia, nas comunidades isoladas, que poderá ser convertida energia elétrica ou térmica. Yu et al. (2014, *apud* SILVA et al., 2017) mencionam que sistemas de energia solar fotovoltaica são possíveis na maioria das regiões do mundo e que constituem uma fonte ideal para geração descentralizada de eletricidade. A obtenção da energia elétrica é possível pelo emprego de sistemas termossolares ou de células fotovoltaicas.

- Sistemas termossolares

Trata-se de um sistema de conversão indireta da energia solar. A radiação solar é absorvida e transformada em calor, o qual é transferido a um fluido que acionará uma turbina que, através de um gerador, produzirá a energia elétrica.

- Células fotovoltaicas

Garantem a conversão direta de radiação solar em eletricidade. As células fotovoltaicas são dispositivos, na grande maioria, a base de silício, das quais existem três tipos. De acordo com Cemig (2012), o silício é o segundo elemento químico mais abundante na crosta terrestre, e tem sido explorado no desenvolvimento de células fotovoltaica de silício monocristalino, policristalino e células de filmes finos. Segundo Villalva e Gazoli (2012), as células monocristalina são as mais eficientes (entre 15% e 18%) e mais caras no mercado. Os mesmos autores apontam uma eficiência comercial entre 13% e 15% para as células de silício policristalino. Já a tecnologia de filmes finos, apesar de apresentar um baixo custo e produção, só disponibiliza uma eficiência entre 7% e 10% (MANRIQUE, 2015). As células monocristalinas ou

policristalinas, quando ligadas em série ou em paralelo, formam um módulo ou painel fotovoltaico.

Para Alvares (2006, *apud* BONFIM et al., 2017), a eficiência de sistemas fotovoltaicos depende da incidência solar sobre a superfície do painel, da disposição do arranjo do sistema e de efeitos naturais perturbadores como a massa do ar atmosférico. De acordo com Cresesb (2014, *apud* DUARTE, 2016), a medição da irradiação solar local é de extrema importância para o desenvolvimento de projetos de sistemas fotovoltaicos. Duarte (2016) estima necessário fazer uma análise do recurso solar levando em conta as condições climáticas da localidade, e, também, estudar a eficiência energética. Segundo Teixeira (2016), os dados climáticos do local podem ser adquiridos a partir de bases de dados de Instituto de Meteorologia, de softwares de dimensionamento ou através da aplicação PVGIS. Para estimar a geração de energia elétrica do sistema fotovoltaico (GE), Naruto (2017) utiliza a seguinte equação:

$$GE = \text{Potência Pico Total}(kWp) * \text{Irradiação Solar} * \frac{30,4\text{dias}}{\text{Eficiência Total}(\%)}$$

Onde: GE= Geração solar estimada em kWh.

A irradiação solar é expressa em kWh/m².dia e 30,4 dias é a quantidade média de dias para todos os meses do ano.

Para Silva et al. (2017), o sistema de geração de energia fotovoltaica é formado por módulos ou painéis, inversor, caixa de conexão ou comando, cabos elétricos e em caso de armazenamento, de baterias. O sistema de alimentação de uma comunidade isolada deve ser autônomo. Assim, o sistema fotovoltaico deverá prever um sistema de armazenamento ou outra fonte de geração de eletricidade que poderá suprir a demanda à noite ou em caso de ausência de radiação solar. Além disso, o sistema fotovoltaico pode ser fixo ou com seguimento solar. Azevedo (2016), após ter feito uma análise do desempenho energético destes dois sistemas fotovoltaicos, conclui que o seguidor solar produz sempre mais que o sistema fotovoltaico fixo. Mas, este último é economicamente mais vantajoso por exigir um investimento inferior ao seguidor solar.

2.3.2. Fontes Não Renováveis

Aqui, encontram-se as fontes com o ciclo de renovação demorado. Comparando a taxa de exploração e a sua capacidade de reposição, nota-se que essas fontes de energia são passíveis de extinção, fora os impactos ambientais provocados pelo seu uso para geração de energia elétrica e térmica. Segundo Irena (2017) *apud* Demattê (2017), as termoelétricas mais utilizadas no mundo utilizam fontes não renováveis como combustíveis para gerar calor.

2.3.2.1. Combustíveis Fósseis

Constituídos principalmente pelo petróleo, pelo carvão e pelo gás natural, estes combustíveis provêm da decomposição de matéria orgânica sob o solo que levam um período geológico longo para se recompor. A conversão destes combustíveis em energia elétrica é possível através da combustão cujo calor resultante aquece um fluido (água, por exemplo).

O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos e constitui-se ainda como um gênero energético importante para a matriz energética mundial. Ele é mais comumente consumido através de seu derivado, o óleo diesel. Os grupos geradores funcionam a base deste óleo, e são frequentemente usados para suprir a demanda de comunidade isolada ou em sistemas de proteção contra blackouts.

As fontes de energia química do carvão mineral são os compostos de carbono. Quanto mais compacto for o carvão, mais quantidade de energia será contida num determinado volume.

Segundo Almeida (2016), há quatro tipos de carvão: lignite, sub-betuminoso, betuminoso (tipo mais abundante e valor calorífico elevado) e antracito (carvão muito duro, alto valor calorífico e com queima prolongada).

Demattê (2017) estipula que as termelétricas que empregam o carvão como combustível representam cerca de 40% de toda eletricidade gerada no mundo.

Para Matias (2006), o gás natural consiste em uma mistura estável de gases cujos componentes principais são hidrocarbonetos gasosos (metano, etano, propano, butano, etc.). O mesmo autor enfatiza o desenvolvimento das centrais de ciclo combinado (turbina a gás + uma a vapor) como propulsor do aproveitamento de gás natural para gerar eletricidade. Lima e Gonçalves (2016) estimam que a geração de energia a partir do gás natural cresce mundialmente, incentivada principalmente pela descoberta de reservas no Brasil, na Argentina, na Austrália e na costa leste da África.

2.3.2.2. Energia Nuclear

Esta forma de energia provém da fissão do urânio em reator nuclear, onde o calor gerado é transferido à água cujo vapor aciona uma turbina acoplada ao gerador de corrente elétrica. Apesar de ser uma fonte de energia barata, a energia nuclear permanece restrita a alguns países como a França, o Japão, o Brasil por causa da alta toxicidade do rejeito radioativo produzido na usina nuclear e dos riscos de acidente. A tabela 6 a seguir apresenta o inventário de reservas de urânio disponíveis no mundo em 2015.

Foram construídos dois tipos de reator arrefecido a água: o reator a água fervente (BWR) onde a água é fervido dentro do núcleo do reator e o reator de água pressurizada (PWR) onde a água circula sob alta pressão para evitar ferver. De acordo com Lima e Gonçalves (2016), o reator PWR (pressurized water reactor) é o tipo de reator mais utilizado mundialmente para a produção de energia nuclear, correspondendo a 65% do total das usinas em operação.

Segundo Cany (2017), o setor nuclear está enfrentando uma situação difícil diante do medo coletivo de um grave acidente nuclear que pode causar prejuízos persistentes no tempo sobre grandes áreas geográficas. A autora sinaliza também a dificuldade de encontrar investidores privados para financiar

uma central nuclear sem a assistência do governo para reduzir os riscos financeiros ligados às restrições de segurança.

Tabela 3: Recursos de Urânio disponíveis em 2015

País	Toneladas de U	Porcentagem Mundial
Austrália	1.664.100	29%
Cazaquistão	745.300	13%
Canadá	509.000	9%
Rússia	507.800	9%
África do Sul	322.400	6%
Níger	291.500	5%
Brasil	276.800	5%
China	272.500	5%
Namíbia	267.000	5%
Mongólia	141.500	2%
Uzbequistão	130.100	2%
Ucrânia	115.800	2%
Botsuana	73.500	1%
EUA	62.900	1%
Tanzânia	58.100	1%
Jordânia	47.700	1%
Outros	232.400	4%
Total	5.718.400	100%

Fonte: World Nuclear Association (2016, *apud* HILÁRIO 2017).

2.4. IMPACTOS LIGADOS A EXPLORAÇÃO DOS RECURSOS ENERGÉTICOS

Os impactos ambientais terão um peso importante na determinação do melhor tipo de recurso energético e sua forma de aproveitamento para atender a demanda da comunidade isolada. O modelo, em desenvolvimento, aspira a um planejamento energético eficiente, buscando um melhor aproveitamento dos recursos, baixos impactos ambientais e custos operacionais. Cada forma de aproveitamento do recurso terá os seus devidos impactos tanto sobre o meio ambiente como sobre a comunidade beneficente. Dependendo do recurso, esses impactos podem ser positivos e/ou negativos.

2.4.1. Impactos Das Fontes Energéticas Renováveis

As fontes renováveis foram desenvolvidas para aliviar os danos causados ao meio ambiente e roer o elo de dependência das fontes convencionais que foram alvos de crises energéticas. Portanto, elas apresentam uma taxa de nocividade baixa em relação às outras fontes.

Gerar energia elétrica a partir do aproveitamento da energia oceânica exige a instalação de equipamentos de captação de movimento, que podem provocar uma baixa do fluxo de água, a alteração do nível das marés, ou até a redução da energia das ondas e a retenção de resíduos presentes na água, elevando a poluição em pontos específicos. Esta interferência no fluxo de água afeta os organismos marinhos, a cadeia alimentar dos seres aquáticos e de algumas aves (REIS et al. 2012, *apud* ALMEIDA, 2016). A energia hidráulica também afeta a vida aquática, e a vida humana com o risco de alargamento, devido à fissura nas barragens, de áreas povoadas, a retenção de poluentes produzidos pelas cidades e a diminuição do fluxo de nutrientes.

As principais desvantagens da energia eólica são: a dificuldade de instalação e transporte, nível de ruído elevado devido às rotações das pás, o impacto visual das instalações, interferências nas comunicações e impactos de aves e morcegos com as pás.

Os impactos ligados ao aproveitamento da energia solar são também mínimos, mas o empreendimento exige um alto investimento para a aquisição dos equipamentos, e a baixa eficiência dos sistemas de conversão da energia acarreta a necessidade de grande área para disponibilização dos painéis. A atividade de uma instalação de aproveitamento da energia geotérmica libera entre 13 e 380g/ kWh de CO₂ por energia elétrica produzida (DICKSON e FANELLI, 2004, *apud* BENFENATTI, 2017).

A energia de biomassa oferece uma facilidade de implantação nas regiões menos favorecidas economicamente, mas apresenta uma baixa eficiência e um alto custo de produção e transporte. A queima da biomassa nas termelétricas é considerada de balanço de emissões de gases a efeito de

estufa nulo, pois, todo o CO₂ absorvido da atmosfera por fotossíntese esteja sendo devolvido para a atmosfera. Tolmasquim (2016, *apud* LIMA e GONÇALVES, 2016) enxerga o uso do biogás como muito benéfico para o meio ambiente, devido á captura e queima do CH₄ que seria liberado livremente para atmosfera.

2.4.2. Impactos Das Fontes Energéticas Não Renováveis

Quando a geração de energia elétrica ocorre a partir da queima de derivados do petróleo em turbinas, caldeiras, motores de combustão e outros favoriza-se a poluição do ar através de emissão de poluentes como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, dióxido de enxofre e outros. Responsáveis pelo efeito de estufa, esses gases acabam originando mudanças climáticas, aumento da temperatura média do planeta, alteração da biodiversidade, e prejuízos para a saúde humana. No que tange a geração de eletricidade a partir do carvão, além da atividade de mineração de carvão gera uma considerável quantidade de rejeitos, a queima do mesmo constitui uma grave fonte de poluição atmosférica, representada pelos gases de efeito de estufa, o monóxido de carbono e os gases de enxofre, principais responsáveis pela chuva ácida. Os rejeitos do carvão, quando expostos às intempéries do meio ambiente, provocam a drenagem ácida de minas que é um efluente rico em metais provenientes de reações químicas. Assim, a drenagem ácida de minas constitui o principal impacto ambiental sobre a água poluindo as bacias da região minerada. As consequências desta drenagem geram a contaminação do lençol freático e o desequilíbrio para a biota, e podem se estender a dezenas de anos ou séculos após o encerramento das atividades de extração. (FILHO, 2014, *apud* ALEXANDRE, 2016).

Já o gás natural, é originalmente uma fonte não renovável que tem o menor fator de emissão de gases a efeito de estufa (LIMA; GONÇALVES, 2016). Assim, há uma tendência mundial de ampliar o uso desta fonte para gerar energia. A energia nuclear apresenta também um baixo impacto

ambiental e só causa problemas graves e irreversíveis quando tiver um acidente na usina ou quando não tiver um plano de isolamento dos rejeitos radioativos. Mas a comunidade nacional, assim, como internacional verifica o sistema de isolamento previsto para esses rejeitos para evitar desastre. O empreendimento nuclear exige um alto custo com a segurança dos resíduos.

Todas as fontes de energia acabam gerando a sua parcela de gases a efeito de estufa. O presente modelo levará em conta o fator de emissão, que é um parâmetro que considere a quantidade, em massa, de CO₂ equivalente (CO₂ + as emissões de CH₄ e N₂O) liberada para cada unidade de energia produzida. A tabela a seguir, foi adaptada do trabalho de conclusão de curso de Lima e Gonçalves (2016), e revela os resultados dos estudos realizados por Miranda (2012) e o fator de emissão da fonte de energia solar provém do estudo de World Nuclear Association.

Quadro 4: Fator de Emissão de gases a efeito de estufa por fonte de geração elétrica

Fonte	Fator de emissão (gCO_{2e}/kWh)
Hidroeletricidade	86
Solar	85
Eólica	16
Nuclear	14
Geotérmica	13 a 380
Termelétrica à carvão mineral	1.144
Termelétrica à gás natural	518
Termelétrica à óleo combustível	781
Termelétrica à óleo diesel	829
Termelétrica à biomassa	0

Fonte: Adaptado de Lima e Gonçalves (2016).

2.5. ASPECTOS POLÍTICOS

As decisões políticas são muito importantes no setor energético. A dimensão política analisa o número de fatores que vão guiar e avaliar a inclusão de um recurso energético particular na matriz. Elas podem incentivar ou bloquear os investimentos na área, isto é, estimular ou parar o desenvolvimento de um país. É evidente que os meios rurais não são

economicamente atrativos para os investimentos energéticos. Mas as comunidades rurais, isoladas, costumam serem atores indispensáveis para a economia agrícola e merecem ser incluídas nos planos de desenvolvimento de cada país e principalmente dos países do terceiro mundo.

2.5.1. Nações Unidas – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7

As preocupações ligadas às dificuldades do acesso à energia atingiram uma escala mundial que se reflete no sétimo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7) das Nações Unidas. Também, atender às necessidades da economia crescente e proteger o meio ambiente, é um dos grandes desafios para o desenvolvimento sustentável.

Durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável em setembro de 2015, foram adotadas uma agenda mundial de 17 objetivos e 169 metas a serem atingidos até 2030. O ODS 7- Energia Acessível e Limpa (figura 12) - é consagrado às questões energéticas.

Figura 12: Imagem do ODS 7



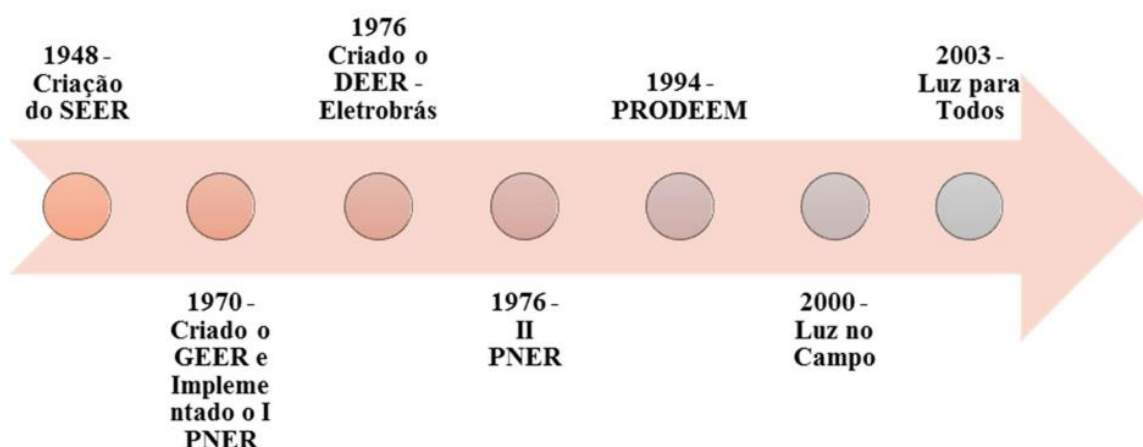
Fonte: Nações Unidas (2015).

O ODS 7 trata do acesso às diferentes fontes de energia, principalmente às renováveis, de maneira eficiente e não poluentes. A primeira meta imposta através deste objetivo é a de assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia até 2030. Partiu-se, então, uma iniciativa proveniente da necessidade de engajar e conscientizar os atores-chave da sociedade (governos locais, setor privado, sociedade civil) a respeito de seu papel e dos esforços necessários para que o cumprimento da Agenda 2030 no seu país seja bem-sucedido.

2.5.2. Políticas Públicas para Eletrificação Rural no Brasil

O Brasil se tornou um exemplo mundial em relação à eletrificação rural. Pinto (2017) efetuou uma análise das políticas públicas para eletrificação rural no Brasil onde apresentou a linha do tempo de programas (figura 13) neste âmbito.

Figura 13: Linha de tempo de programas de eletrificação rural



Fonte: Pinto (2017).

Assim, desde 1948, o Brasil tem tentado facilitar o acesso a energia elétrica para a população rural. Pinto destaca o Programa Luz para

Todos como uma iniciativa bem-sucedida que, até novembro de 2016, atendeu cerca de 15,9 milhões de moradores da zona rural brasileira.

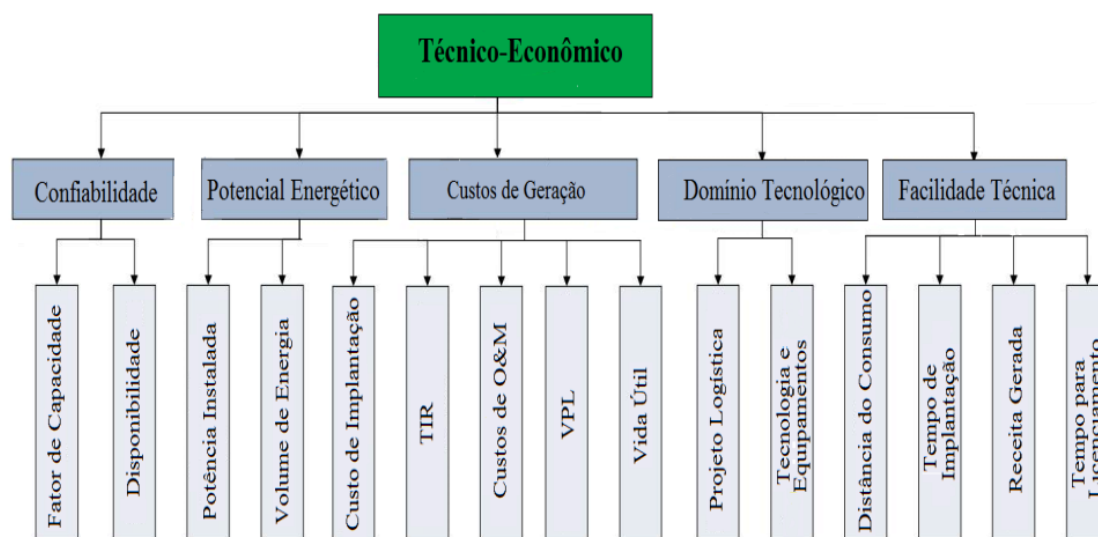
2.5.3. Políticas Públicas para Eletrificação Rural no Benim

África é um continente multicultural, repleto de tribos que vivem afastados das regiões urbanas para conservar as suas culturas e tradições. Estas comunidades não têm acessos à eletricidade e são extremamente difíceis de incluir nos planos governamentais por falta de inclusão social e razões financeiras. No Benim, a Agência Beninense de Eletrificação Rural e de Controle de Energia (ABERME) tem a responsabilidade de executar a política nacional em relação a eletrificação rural e ao controle da energia promovendo a utilização das fontes renováveis. O Programa de Ação Governamental (PAG) 2016-2021 prevê um Programa de Implementação dos Microprojetos de Impacto Local (PMIL) para atender as necessidades das comunidades isoladas.

2.6. ASPECTOS TÉCNICO-ECONÔMICOS

Kinto et al. (2017) enxergam os aspectos técnico-econômicos como os diferentes índices técnicos relacionados ao equipamento e as empresas de energia que podem ser calculados através de vários métodos ou disponibilizados. A principal intenção é de completar os cálculos do potencial dos recursos energéticos analisando outros parâmetros como: o custo de instalação, o custo de operação e manutenção, a vida útil, e o fator de potência entre outros. Junior (2016) agrupa na figura 14 os atributos e subatributos desta dimensão que abrange três áreas principais na análise de cada recurso energético: economicidade, capacidade energética e fatores técnicos.

Figura 14 : Árvore de atributos e subatributos da dimensão técnico-econômica



Fonte: Junior (2016).

A avaliação destes atributos depende da realidade de cada região. Quanto mais informações tiverem sobre a localidade, maior será o número de atributos e melhor a decisão que será tomada. Kinto et al. disponibilizam nas tabelas 8 e 9 os custos de instalação e os custos de operação e manutenção de certos recursos energéticos.

Quadro 5: Custos de instalação

Recursos	R\$/kW
Gás Natural/Grupo Gerador	2100,00
Hidroeletricidade	2900,00
Biodigestor	2400,00

Fonte: Adaptado de Kinto et al. (2018).

Quadro 6: Custos de operação e manutenção

Recursos	R\$/kW
Gás Natural/Grupo Gerador	40,00
Hidroeletricidade	25,00
Biodigestor	55,00

Fonte: Adaptado de Kinto et al. (2018).

2.7. PROCESSOS DECISÓRIOS

Uma decisão deve ser tomada sempre que se enfrenta um problema que possui no mínimo duas alternativas para sua solução. Assim, decidir é escolher uma alternativa entre um conjunto de alternativas possíveis sob a influência de pelo menos dois parâmetros conflitantes. O processo de decisão

requer a existência de várias alternativas factíveis para sua composição, em que cada decisão tem associados um ganho e uma perda. Para Gomes et al. (2006), tomar decisões complexas é, em geral, uma das tarefas mais difíceis enfrentados por indivíduos isolados ou mesmo por grupos e por mais que a tecnologia evolui, esta tarefa será sempre de certa forma dependente do ser humano. Tais decisões precisam atender a vários objetivos ao mesmo tempo.

O grau de complexidade de uma decisão aumenta com o número de alternativas. Para facilitar o processo decisório, isto é, diminuir ou agrupar as alternativas, recorre-se ao conceito Disjuntivo ou Conjuntivo a fim de separar as alternativas aceitáveis das não aceitáveis. Enquanto no método conjuntivo, uma alternativa precisa atender a um valor mínimo em todos os atributos ou critérios; no método disjuntivo, uma alternativa deverá atender a um valor mínimo em um ou mais critérios. Este último se revela como conveniente para ser considerado na elaboração do modelo de análise almejado.

As decisões econômicas, industriais, políticas ou sociais costumam ser classificadas como decisões de multicritério, pois precisam atender vários requisitos ao mesmo tempo. Os métodos multicritérios têm sido elaborados para apoiar e conduzir os decisores na avaliação e escolha das alternativas-solução em diversos contextos. Segundo Junior (2016), a decisão multicritério ocorre quando, diante de uma determinada situação deseja-se:

- Identificar a melhor opção;
- Ordenar as opções;
- Gerar um número limitado de alternativas para uma subsequente avaliação;
- Distinguir as possibilidades aceitáveis das não aceitáveis.

É importante enfatizar que na Análise Multicritério, sempre haverá a intervenção humana no processo decisório. Isto significa que apesar de existir uma quantidade considerável de ferramentas para tomada de decisão multicritério, a decisão final depende do fator humano. O Auxílio Multicritério à Decisão envolve um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar

peças e organizações a tomarem decisões, sob a influência de uma multiplicidade de critérios (GOMES et al., 2006).

3. MODELO DE ANÁLISE

A cognição humana é limitada; portanto, o ser humano não consegue entender e compreender todos os sistemas em sua volta, ainda menos, processar todas as informações que recebe. Kaufman (1999, *apud* GOMES et al., 2009) identifica três causas desta restrição cognitiva:

- ✓ Capacidade limitada do processamento do cérebro humano;
- ✓ Desconhecimento de todas as alternativas possíveis de resolver o problema;
- ✓ Influência dos aspectos emocionais e afetivos.

O propósito deste modelo é avaliar e analisar todas as possibilidades a partir dos recursos energéticos disponíveis numa comunidade isolada para indicar um planejamento energético adaptado à realidade local. Observe-se que as comunidades isoladas não costumam ser incluídos nas políticas energéticas de vários países e precisam de uma atenção particular em relação à questão de acesso à eletricidade. O modelo de análise almejado integre esta particularidade das comunidades isoladas se baseando sobre o conceito de Planejamento Integrado dos Recursos (PIR) para, não somente, considerar todas as possibilidades, mas também, evitar uma decisão equivocada. De acordo com Rigolin (2013, *apud* JUNIOR, 2016), o PIR efetua a comparação entre os recursos energéticos de maneira que seja realizada uma ordenação de sugestão de recursos, indo do mais indicado para o menos indicado. Gomes et al. definem um modelo como uma representação externa e simples de uma parcela da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar esta parcela. Os modelos permitem a representação, o entendimento, a análise e a quantificação da realidade. Assim, espera-se do modelo uma organização dos recursos energéticos do mais recomendado ao menos recomendado para uma determinada comunidade a partir da análise dos dados de entrada.

Para Bernal (2018) o Planejamento Integrado de Recursos (PIR) é uma ferramenta metodológica que propõe um auxílio à tomada de decisão em busca

do melhor aproveitamento dos recursos energéticos de uma determinada região considerando o máximo de variáveis e parâmetros envolvidos em uma análise sistêmica, global e racional dos recursos energéticos e da região estudado. Maruyama (2013, *apud* BINOTTO, 2017) enxergou a possibilidade de dividir o PIR em quatro fases: o levantamento das informações prévias, o ranqueamento dos recursos energéticos, a integração destes recursos e a obtenção do plano preferencial de recursos energéticos. Na primeira fase, efetua-se a elaboração de uma base de informações sobre as características ambientais, sociais, políticas e econômicas da região envolvida. Em seguida, passa-se a uma organização dos recursos energéticos disponíveis possíveis de serem utilizados no horizonte de planejamento tanto de lado oferta (sistemas de geração, oferta de energia elétrica) como de lado de demanda (uso racional e eficiente da energia elétrica) levando em conta as características identificadas. Nas duas últimas fases, analisa-se a aplicabilidade naquela região. O modelo de análise proposto abrange as fases de levantamento de informações e de ranqueamento dos recursos energéticos do lado de oferta.

3.1 CÔMPUTO E VALORIZAÇÃO DOS POTENCIAIS COMPLETOS (CVPC)

O CVPC é uma das principais etapas de um Planejamento Integrado de Recursos. Para Bernal (2018), o processo de cômputo e valoração visa a definição e construção precisa de potenciais completos de cada recurso levando em consideração a fonte energética e a tecnologia usada para a sua conversão. Junior (2018) ressalta que o processo de CVPC de Recursos Energéticos, pelo lado da oferta, envolve a valorização em termos relativos e absolutos de todos os atributos ligados aos recursos energéticos nas quatro dimensões do PIR. Também, ele é definido como uma caracterização completa de um recurso (quantitativo e qualitativo) nas dimensões ambiental, político, social e técnico-econômico.

Aqui, constrói-se uma estrutura de atributos e subatributos das dimensões supracitadas, estabelecendo critérios e subcritérios representativos

como fundamentos da comparação. Atributo e critério são conceitos importantes para as situações de análise. Portanto, pretende-se defini-los e deixar claro as suas diferenças a fim de evitar qualquer tipo de confusão. Gomes et al. (2006) definem o atributo como sendo uma consequência das alternativas existentes e o critério como uma ferramenta que permite a comparação de alternativas segundo um eixo particularmente significativo ou ponto de vista, isto é, a base de uma avaliação. Por exemplo, numa situação onde um termômetro mede a temperatura em °C, considere-se como critério a sensação de temperatura e como atributo a leitura da temperatura. Um critério é quantitativo quando há possibilidade de medi-lo ou graduá-lo por meio de métodos determinísticos ou probabilísticos, e um critério é qualitativo quando sua graduação é feita através de julgamentos subjetivos.

O objetivo dessa etapa é de reconhecer os dados qualitativos e quantitativos para posteriormente compará-los em si, e organizar os recursos.

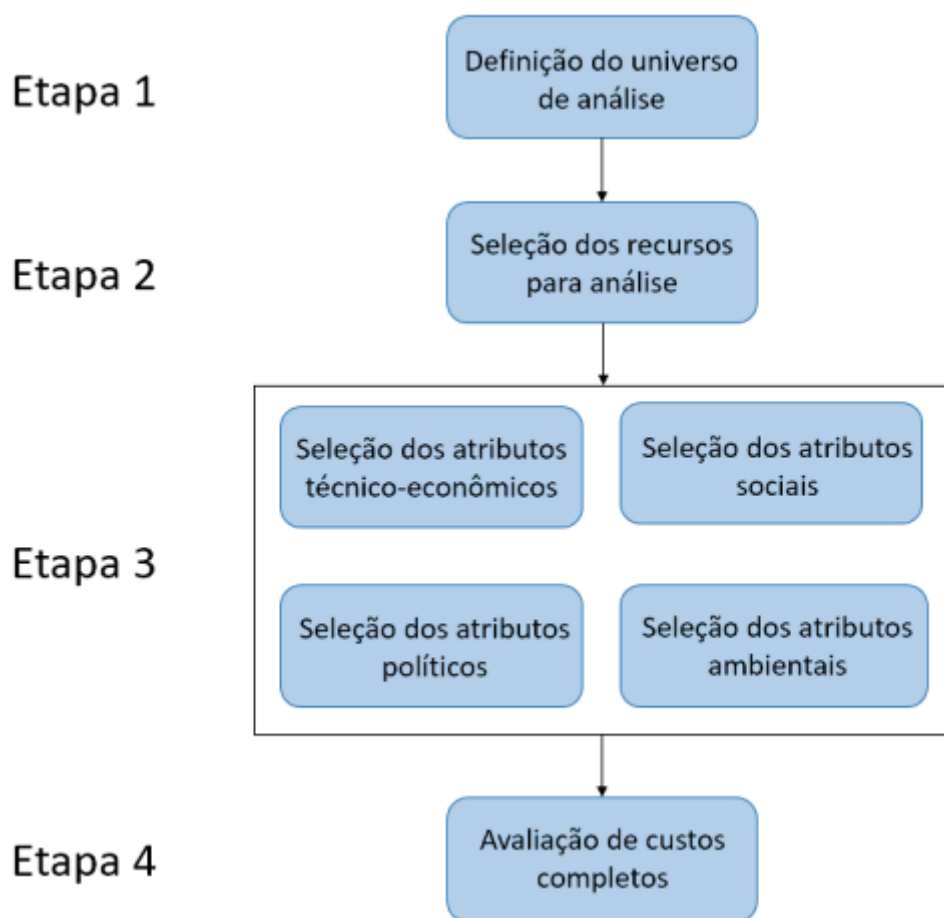
3.2. AVALIAÇÃO DE CUSTOS COMPLETOS (ACC- PADRÃO)

A Avaliação de Custos Completos é uma metodologia de cálculo dos custos completos (internos e externos) de um empreendimento que tem como resultado uma classificação organizada dos recursos energéticos analisando diversas áreas de conhecimento. A seu uso no PIR prevê duas formas distintas:

- A Avaliação de Custos Completos padrão ou determinística se baseia sobre o CVPC dos recursos energéticos. Assim, todas as notas atribuídas a estes recursos são especificamente estimadas, independentemente de serem valores quantitativos ou qualitativos.
- A Avaliação de Custos Completos dos Especialistas ou holística requer a consulta de profissionais qualificados e considera a opinião dos diversos atores regionais e envolvidos no planejamento.

No modelo de análise proposto, implementa-se a ACC padrão a partir das quatro etapas apresentadas na figura 15.

Figura 15 : Processo de valoração dos recursos energéticos em determinada região



Fonte: BINOTTO (2017).

A comparação dos atributos e subatributos exige uma unificação dos dados numéricos. Para tanto, a metodologia da ACC compatibiliza os dados classificando as entre 0 e 1 adimensionais independentemente das unidades originais. Estes valores são necessários para deduzir a equação da reta que servirá para calcular os valores intermediários. No que tange os dados qualitativos, descritivos, ou seja, não numéricos, usa-se a quantidade de respostas diferentes que existem para caracterizar os recursos energéticos. A sensibilidade da nota será $1/(n-1)$, onde n é a quantidade de valores do intervalo (RIGOLIN, 2013).

O modelo da análise será estruturado através de uma ferramenta de ontologia.

3.3. ONTOLOGIA

A ontologia é uma técnica de organização de conceitos e relacionamento existente neste conceito, um compartilhamento e entendimento comum de um determinado domínio para facilitar o reuso do conhecimento entre agentes humanos ou artificiais (ROQUE et al, 2017). Ela permite definir, classificar, relacionar e inferir conhecimento. Uma ontologia é especificada por meio de componentes básicos como as classes, relações, axiomas e instâncias. A escolha de uma ontologia para desenvolver o modelo de análise surgiu da necessidade de ter um método ou uma ferramenta que abrange todos os possíveis recursos energéticos existentes e suas tecnologias de conversão para produzir energia elétrica a fim de garantir seu uso correto no planejamento. A ontologia fornece um vocabulário comum aos pesquisadores que precisam compartilhar as informações de um determinado domínio e as razões que incentivam a sua criação, são:

- Compartilhar um entendimento comum da estrutura da informação entre as pessoas ou os *software*
- Permitir a reutilização do domínio de conhecimento
- Tornar explícitos os pressupostos do domínio
- Separar o domínio de conhecimento do domínio operacional
- Analisar um domínio de conhecimento.

O domínio de conhecimento em questão, neste caso, é o planejamento energético em meio rural. De acordo com Maximiano (2004, *apud* SANTOS, 2017), o planejamento é um processo constante e dinâmico, em que as suas ações possibilitam se preparar melhor para eventos futuros através da elaboração de planos e processamento de dados. A concepção do desenvolvimento sustentável enfatiza ainda mais a importância do planejamento energético no sentido de priorizar o uso das fontes renováveis na matriz energética a fim de preservar o meio ambiente. Portanto, o planejamento do setor elétrico é primordial para as tomadas de decisão futuras e também para a elaboração de políticas energéticas sustentáveis. Também, auxilia na

resolução de conflitos da oferta e demanda de energia, do meio ambiente e da economia (SANTOS, 2017).

Inserir a ontologia no modelo de análise para auxiliar a tomada de decisão no planejamento energético oferece a possibilidade de elaborar um sistema reutilizável de organização e representação de conhecimento neste âmbito. As ontologias são frequentes em medicina e na Inteligência Artificial. Também, estão se tornando cada vez mais costumes em outras áreas como e-Commerce, agricultura. Por exemplo, o Sistema de Apoio à Decisão (SAD) Sustenagro desenvolvido pela Embrapa Meio Ambiente se baseia sobre a ontologia para apoiar os especialistas a tomar decisões a partir do conhecimento, permitindo simplificar a resolução de problemas que de outra maneira não seriam triviais (SUÁREZ, 2017).

A engenharia de ontologia é uma área emergente dos setores de gerenciamento de conhecimento e de desenvolvimento de web semântica, que envolve as ferramentas de desenvolvimento das ontologias. Ou seja, a engenharia de ontologia é um conjunto de atividades que são realizadas durante várias fases de ontologias como conceituação, formulação, projeto e implantação de ontologias. O principal objetivo desta engenharia é de “realizar modelos de cada domínio e interpretá-los em linguagem de máquina” incluído os conceitos relativos ao determinado domínio, seus derivados e as ligações existentes entre eles. Nesta Era da Informação, os editores de ontologia são cada vez mais comuns e disponíveis para construir e implementar as ontologias que estão se transferindo dos laboratórios de Inteligência Artificial para outras áreas de domínio especializada. Assim, através de editor como Protégé, OntoEdit, Hozo, JOE, o homem planeja e desenvolve as ontologias para atender suas necessidades de informação em relação à organização, à estruturação e à recuperação.

Gómez-Pérez(1999) apresenta uma descrição mais ampla dos componentes de uma ontologia:

- Um conjunto de conceitos (classes) e uma hierarquia entre esses conceitos, isto é, uma taxonomia. As classes são o foco da maioria das ontologias. Elas descrevem os conceitos gerais de um domínio, favorizando a

organização e a classificação dos indivíduos em um sistema lógico e hierárquico, designando subclasses que representam conceitos específicos. Os conceitos podem ser abstratos, concretos, elementares ou compostos, reais ou fictícios. Por exemplo, considerando os conceitos: Pessoa, Homem, Mulher; os dois últimos são subconceitos (subclassess) de pessoa.

- Um conjunto de relacionamentos entre esses conceitos. As relações apresentam o tipo de ligação existente entre os conceitos de um domínio e as propriedades presentes nas classes e indivíduos. Assim, elas podem ser transitivas, simétricas, funcionais, reflexíveis. Os exemplos de relacionamento entre os conceitos Homem e Mulher podem ser: é-irmão-de, é-irmã-de, é-esposo-de, é-esposa-de.

- Um conjunto de axiomas que constituem regras que são sempre verdade. Os axiomas servem para modelar as regras assumidas como verdadeiras no domínio em questão e os indivíduos ou instâncias das classes são utilizados para representar elementos específicos ou objetos do domínio de interesse. Um exemplo de axioma é afirma que toda pessoa tem uma mãe biológica.

- Um conjunto de instâncias que são um conhecimento prévio existente na ontologia.

Entre a variedade de editores de ontologia, escolheu-se o editor PROTÉGÉ para o desenvolvimento do modelo por ele ser um software gratuito e de fácil acesso e manipulação.

3.4. PROTÉGÉ

É um editor gratuito de ontologias desenvolvido pela Universidade de Stanford na linguagem OWL (*Web Ontology Language*) que é apropriada para o uso no *World Wide Web*. A escolha do PROTÉGÉ se justifica pelo fato de ser mais usual no mundo acadêmico disponibilizando assim uma série de tutoriais e de exemplos para facilitar a sua aprendizagem. Também, o Protégé apresenta uma interface gráfica harmoniosa e fácil de manipular e de

compreender. Inicializa-se, então, o desenvolvimento do modelo propriamente dito.

3.5. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

O modelo de análise dos recursos energéticos locais é implementado no editor Protégé com a utilização da linguagem OWL considerando os conceitos de planejamento integrado de recursos. Iniciou-se, então, pelo desenvolvimento da ontologia que servirá de base para a análise. Na realidade, é considerada fina a linha que separe a ontologia da base de conhecimento. A ontologia é flexível, isto é, pode ser modificada, acrescentando, atualizando e removendo as classes, propriedades e instâncias.

Na prática, o desenvolvimento da ontologia envolve a definição das classes, a organização hierárquica das classes (subclasse, superclasse), a definição e a caracterização dos conectores, e por fim, criar as instâncias. As professoras Noy e McGuinness (2001) da Universidade de Stanford propuseram uma metodologia num guia para o desenvolvimento de ontologias sob o título original de: *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your first Ontology*. O objetivo principal é orientar o desenvolvimento de ontologias padronizadas. Esta metodologia abrange em 7 passos que são eles:

❖ 1º Passo: Determinar o domínio e escopo da ontologia

Nesta etapa, a metodologia sugere quatro perguntas básicas. São as perguntas a seguir com as respostas (R) correspondentes ao caso do modelo de análise almejado:

- Qual é o domínio que a ontologia envolverá?

R: A ontologia atenderá o domínio de planejamento energético para comunidades isoladas a partir dos recursos locais.

- Para que será usada a ontologia?

R: Esta ontologia servirá para reunir os conhecimentos para geração de energia elétrica a fim de atender certa demanda energética.

- Para que tipos de questões as informações na ontologia proverá respostas?

R: Qual recurso energético atenderia melhor a demanda da comunidade a partir de tal (is) objetivo(s)?

- Quem usará e manterá a ontologia?

R: A comunidade isolada tanto que os engenheiros usufruirão da ontologia no sentido de facilitar a tomada de decisão para atender as demandas energéticas desta comunidade de forma adequada. Incumbe a autora de manter a ontologia com a possível participação de outros engenheiros ao longo prazo.

- ❖ 2º Passo: Considerar a reutilização de ontologias existentes

Noy e McGuinness (2001) recomendam levar em conta o que alguém fez e, verificar se pode refinar, estender as fontes existentes para o domínio desejado. Assim, buscou-se alguns trabalhos que envolvem a proposta deste trabalho. A descrição sucinta dos trabalhos encontrados segue:

- *Iteams Ontology* (NING et al., 2006): é uma ontologia utilizada para facilitar a coleta, a organização e o desenvolvimento de novas idéias. Esta composta de classes como *Teams*, *Actions*, *Goals*, *Community*, *Results*.
- Sistema de Apoio a Decisão SAD SustenAgro (SUÁREZ, 2017): este sistema detém uma ontologia de domínio para a avaliação da sustentabilidade do sistema produtivo de cana-de-açúcar na região centro-sul. Contém classes como *Production Unit*, *Microregion* e *Indicator*.
- Ontologia para o gerenciamento de objetos de aprendizagem (LIMA et al., 2017): esta ontologia foi especificada e conceitualizada a base dos conhecimentos extraídos da metodologia de planejamento de disciplina com as teorias consolidadas pedagógicas e do modelo de objeto de aprendizagem para promover o aumento da eficiência no processo deste planejamento. Ela tem: classes primitivas como *MapaDeConteúdo*,

MapaDeDependencias, ObjetivoEducativo; além das subclasses primitivas e definidas.

- *Ontology structure of converter steel making process* (BAO et al., 2016): é uma ontologia que faz parte de um Sistema de gerenciamento da grande base de dados (*Big Data Knowledge Management System-BDAKMS*) para representar e formalizar as informações sobre o processo de fabricação do aço. Suas classes foram classificadas em 7 grupos: *Environmental Factor, Product, Energy, Facility, Ingredient, Material, Process Schedule*.
- *Prosumer-Oriented Smart Grid Ontology ProSGV3* (GILLANI et al., 2014): trata-se de uma ontologia que envolve vários domínios relacionados ao conceito Smart Grid para descrever as propriedades físicas e de gerenciamento do sistema. Para tanto, encontra-se entre outras, classes como *Consumer, Producer, PowerGeneration, WeatherReport, EletricalAppliance*.

❖ 3º Passo: Enumerar termos importantes na ontologia

O levantamento dos termos importantes do cenário se baseia sobre o referencial teórico realizado no capítulo 2. Então, os principais termos são: demanda energética, recursos energéticos, método de avaliação e resultado. Enquanto, o tópico da demanda energética esclarece as necessidades de energia elétrica de uma determinada localidade, a parte dos recursos abrange as possibilidades de aproveitamento dos recursos energéticos para suprir a demanda de energia elétrica. Já, o método de avaliação efetua uma análise que fornece como resultado um ranqueamento dos recursos na ordem do mais ao menos adequado para implementar na região.

❖ 4º Passo: Definir as classes e a hierarquia de classes

Segundo Noy e Mc Guinness (2001), as classes são usadas para descrever os conceitos de um domínio, possibilitando a organização e classificação dos indivíduos em um sistema lógico e hierárquico, contendo subclasses que representam conceitos específicos. Em Protégé, as classes agrupam as instâncias com características comuns, similares. Assim, criaram-se as classes: *Demanda_de_energia_elétrica* com subclasses como

Demanda_Anual_de_Eletricidade, Demanda_Diária_de_Eletricidade, Demanda_Mensal_de_Eletricidade; Recursos_Energéticos tem subclasses tal que: Recursos_Renováveis e Recursos_não_Renováveis; Análise envolve subclasses como Dimensão_Técnico_Econômica, Dimensão_Ambiental, Dimensão_Social, Dimensão_Política; e a classe Comunidade que envolve os estudos de casos de algumas comunidades e que tem como subclasse Nome_da_Comunidade.

❖ 5º Passo: Definir as propriedades das classes

As propriedades descrevem os atributos das instâncias da classe e as suas relações com outras classes. “É” represente uma ligação entre a classe e uma instância. “Tem:” indica uma relação pai-filho entre as classes e várias outras propriedades que são comentadas no editor facilitar a compreensão da modelagem. As propriedades costumam ser classificadas em simples e complexas na ontologia. Enquanto, as propriedades simples (como TemNome ou TemValorDe) envolvem os valores primitivos (strings ou números), as complexas apontam para outros objetos. Estes requisitos facilitaram a implementação do modelo.

❖ 6º Passo: Definir as restrições de propriedades

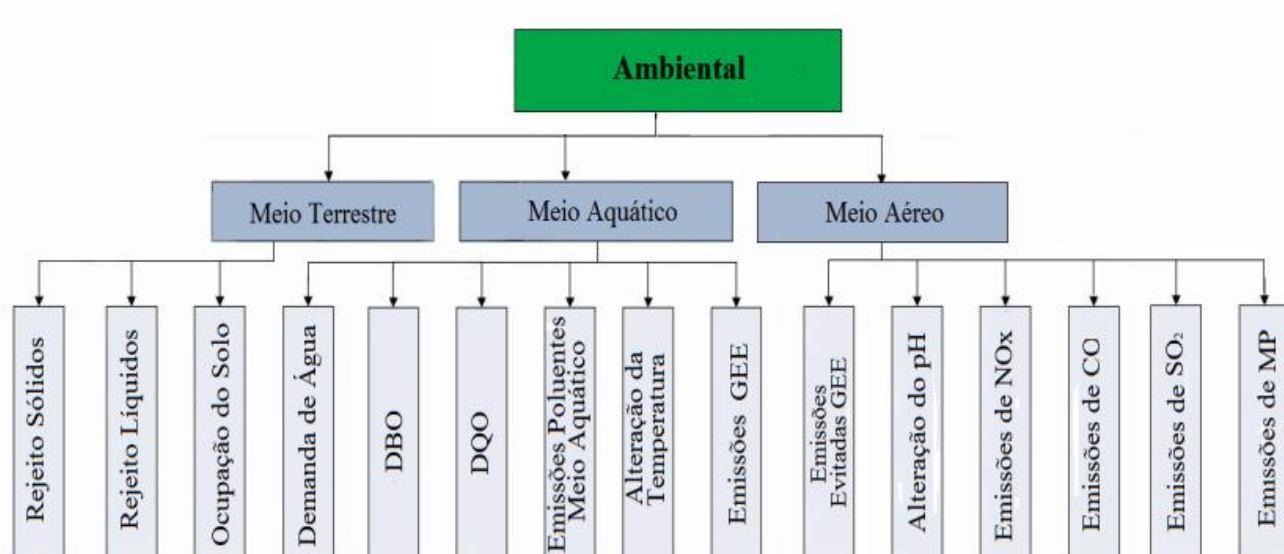
Aqui, descrevem-se as limitações do conjunto de valores possíveis para uma propriedade. Por exemplo, a demanda energética de uma localidade é um valor numérico.

❖ 7º Passo: Criar instâncias

As instâncias são os objetos do domínio e cada instância deve pertencer a pelo menos uma classe. Assim, foi criada uma instância para cada recurso energético. Tem-se, também, instâncias como Comunidade_1, Comunidade_2 da classe Comunidade e, Minimização_de_custos, Geração_de_empregos, Desenvolvimento_social da classe Análise.

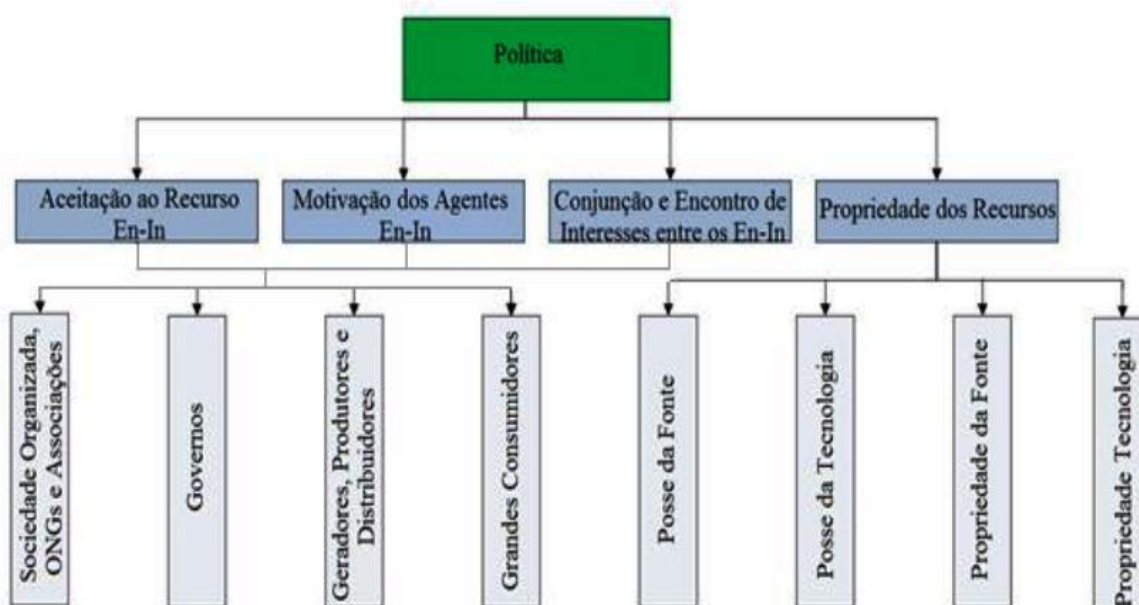
O modelo consta o diagrama hierárquico do PIR que revela a representação das quatro dimensões com os seus diversos atributos e subatributos. As figuras 16 a 18 ilustram respectivamente as árvores de atributos e subatributos das dimensões ambiental, política e social. Confere-se na figura 14 a árvore da dimensão técnico-econômica.

Figura 16 : Árvore de atributos e subatributos da dimensão ambiental



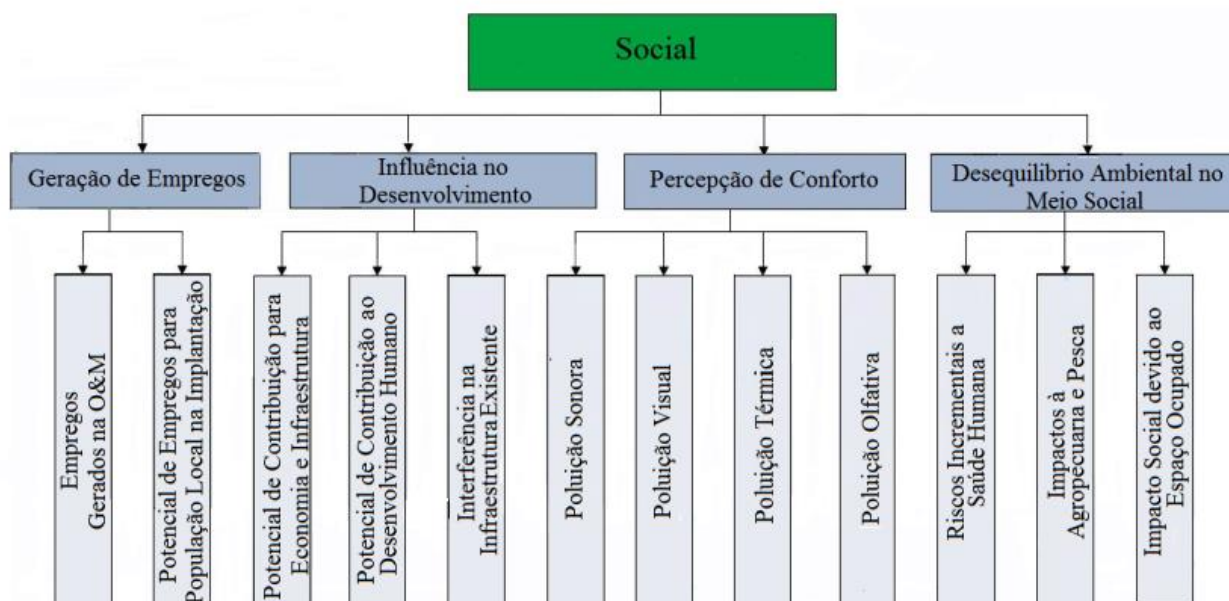
Fonte: Junior (2016).

Figura 17: Árvore de atributos e subatributos da dimensão política



Fonte: Junior (2016).

Figura 18 : Árvore de atributos e subatributos da dimensão social



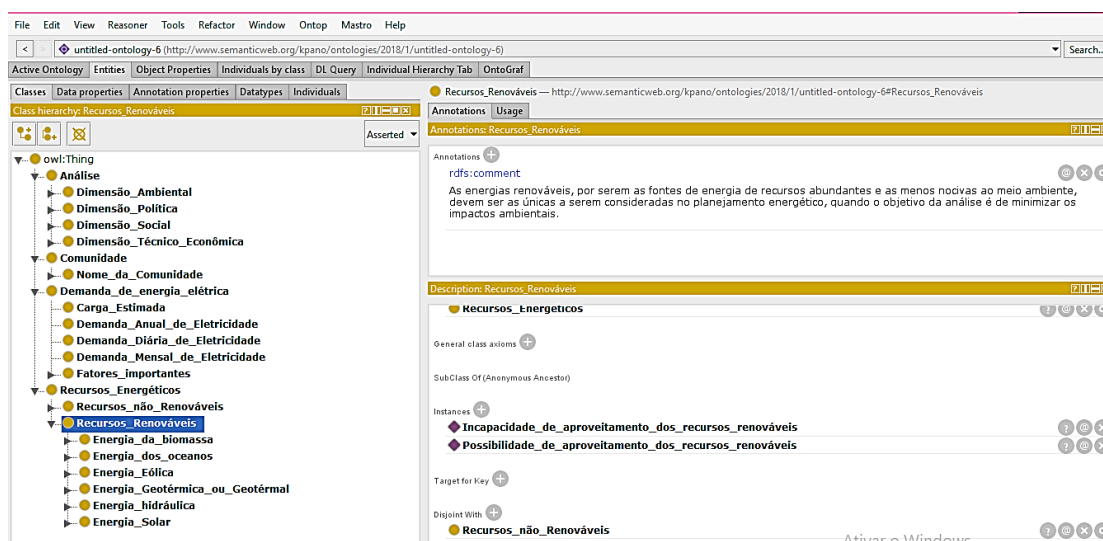
Fonte: Junior (2016).

O modelo de análise, organizado através do editor PROTÉGÉ, é incremental e envolve estudos de casos e seus resultados já implementados para servir de referência em casos parecidos. Os estudos de casos considerados devem envolver uma comunidade isolada com um potencial energético importante em vários recursos e esta necessidade de tomada de decisão. Nesta fase do desenvolvimento, foram escolhidos dois estudos de caso no âmbito nacional para implementar o raciocínio lógico do modelo.

4. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

A figura 19 apresenta o resultado do modelo elaborado em Protégé 5.2. O modelo possui 4 superclasses que são : Análise, Comunidade, Demanda_de_energia_elétrica, Recursos_Energéticos.

Figura 19: Modelo elaborado



Fonte: Autoria Própria (2018).

A parte de validação do modelo ocorre em dois casos: validação a partir da avaliação dos especialistas ou validação a partir das experiências registradas. Escolhendo esta última, implementou-se no modelo dois estudos de casos, aonde, simulou-se um sistema de busca a partir dos objetivos considerados no planejamento energético destas comunidades.

O primeiro exemplo registrado se baseia sobre o artigo “Gaseificação de Biomassa Residuária na Amazônia: Estudo de Caso em Comunidade Quilombola no Pará” de MUNIZ e Da Rocha (2013). Os autores apontaram para um projeto, em situação de abandono até 2013 por razões políticas. O projeto visava edificar uma agroindústria para funcionar em conjunto com uma usina de energia. Em contrapartida, o Programa Luz Para Todos passou a atender as demandas residências da comunidade, mas não deservem as cargas não residenciais. Isto significa que a demanda energética da agroindústria que

poderia gerar mais empregos na comunidade e melhorar as condições de vida continuou reprimida até a metade de 2013, onde iniciou-se um diálogo com o Governo do Estado do Pará para retomar o projeto inicial. Para tanto, os autores efetuaram um levantamento do diagnóstico energético na comunidade (tabela 10).

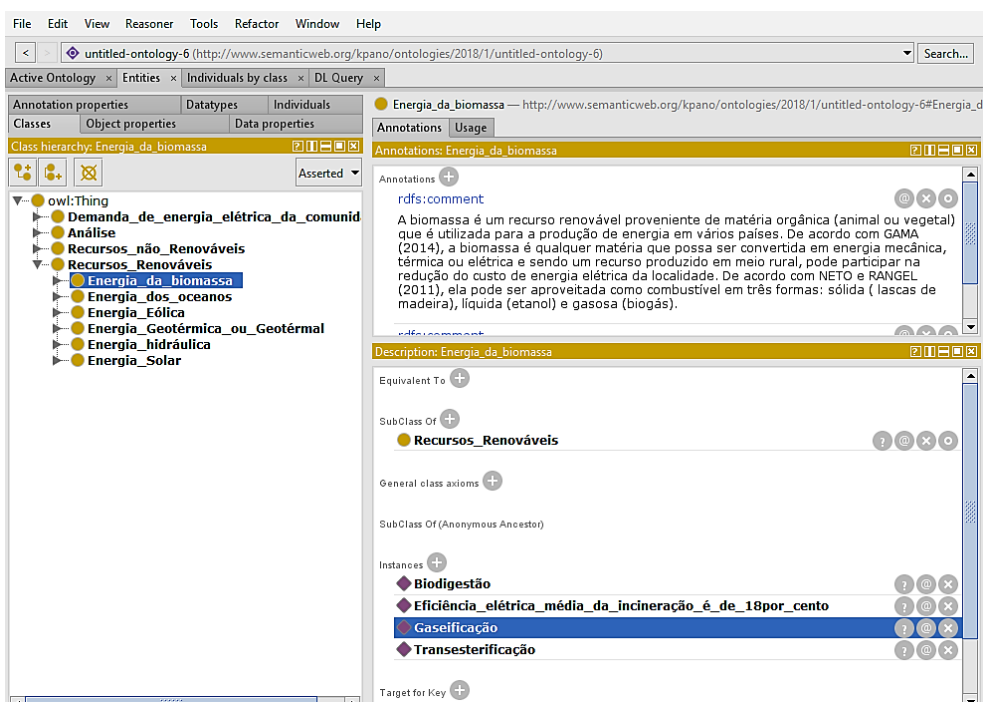
Tabela 4: Recursos energéticos estimados na comunidade

Recurso Energético	Solar (irradiação)	Eólico (velocidade de vento)	Biomassa (caroços e cachos de açaí)
Potencial Levantado	4,5 a 5,0 kWh/m²	3,0 a 4,5 m/s	1704 kg/dia

Fonte: Muniz e Da Rocha (2013).

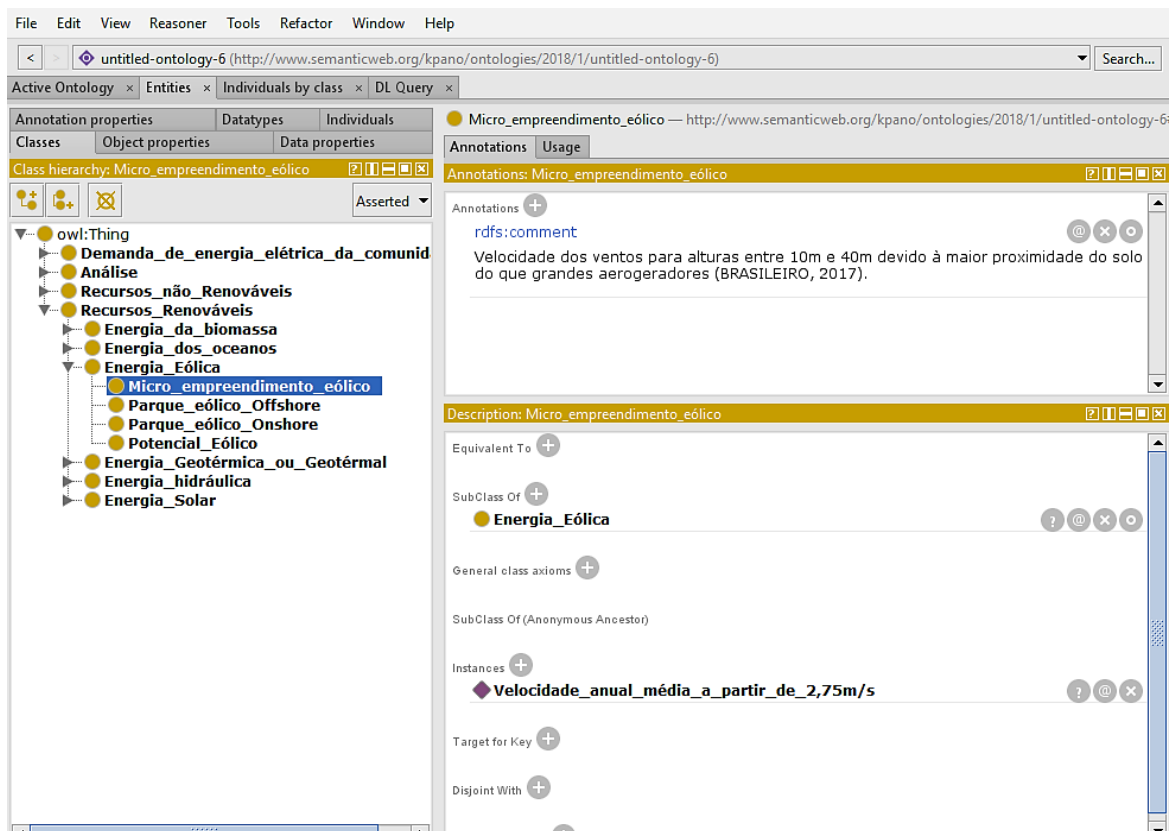
Registrando esta experiência no modelo desenvolvido, selecionou-se como objetivos na parte de análise: geração de emprego, desenvolvimento social, melhor aproveitamento dos recursos existentes na região, minimização dos custos e dos impactos ambientais. Os autores avaliaram os recursos solar, eólico, a biomassa agrícola através do processo de gaseificação e o sistema diesel. A figura 20 apresenta a parte de aproveitamento da energia de biomassa na implementação no PROTÉGÉ.

Figura 20: Forma de aproveitamento da energia de biomassa da comunidade



Fonte: Autoria (2018).

Figura 21 : Exigência da velocidade do vento viável

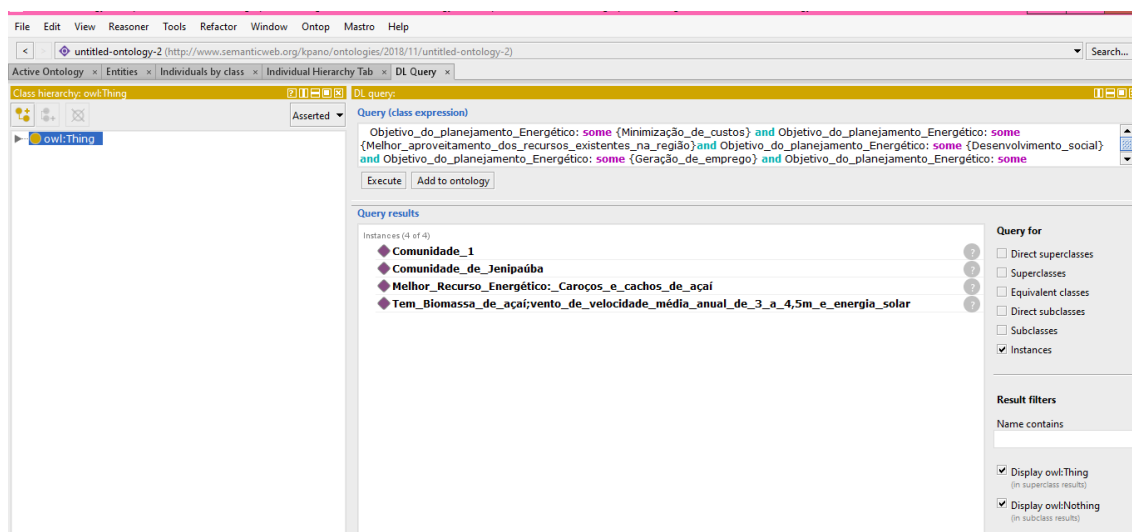


Fonte: Autoria (2018).

A visualização dos resultados em *protégé* podem ser feitas através da execução de *DL(Descriptions Logics) query* e no *OntoGraf*. O editor *protégé* oferece uma facilidade de consulta a partir da formulação e execução de interrogação lógica em query DL usando *Manchester syntax*. Por exemplo, considerando que o usuário precisa efetuar um planejamento energético que atende aos mesmos objetivos da Comunidade Igarapé Combu, o resultado da figura 22 é obtido ao executar o comando:

```
Objetivo_do_planejamento_Energético: some {Minimização_de_custos} and
Objetivo_do_planejamento_Energético: some
{Melhor_aproveitamento_dos_recursosexistentes_na_região} and
Objetivo_do_planejamento_Energético: some {Desenvolvimento_social} and
Objetivo_do_planejamento_Energético: some {Geração_de_emprego} and
Objetivo_do_planejamento_Energético: some
{Minimização_dos_impactos_ambientais}.
```

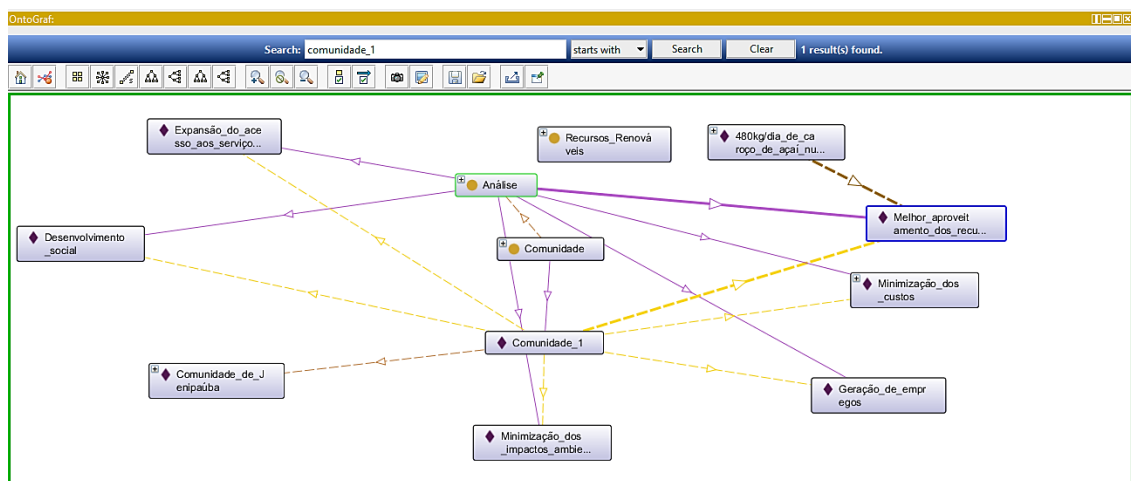
Figura 22: Resultado da DL Query



Fonte: Autoria própria (2018).

O *OntoGraf* apresenta o resultado na forma gráfica (figura 23). As linhas que interligam os conceitos representam os relacionamentos existentes entre eles.

Figura 23: Resultado no OntoGraf



Fonte: Autora (2018).

Tanto o resultado da *DL query* quanto o resultado do *OntoGraf* correspondem ao recurso sugerido pelos autores.

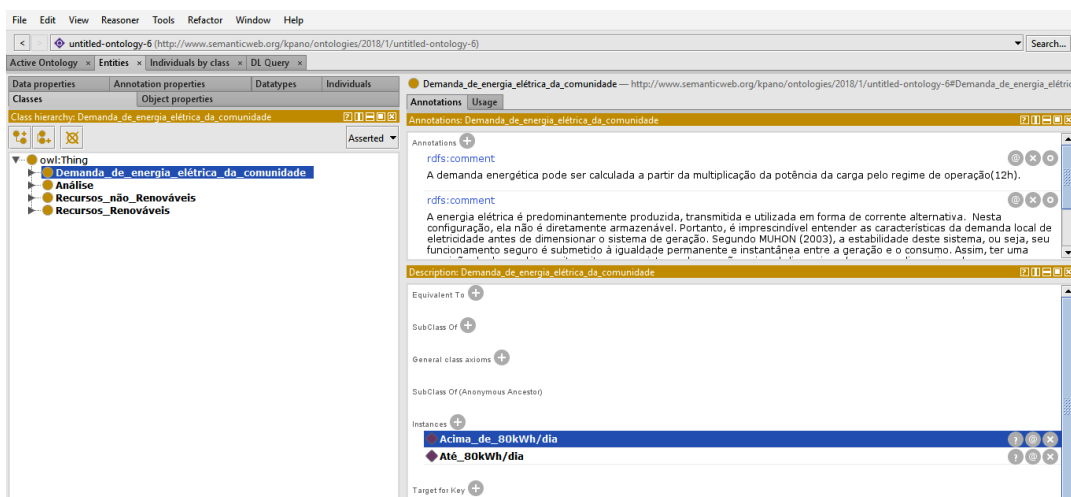
O Segundo caso inserido no editor se baseia sobre o artigo “O planejamento energético como ferramenta de auxílio à decisão sobre a oferta de energia na zona rural” de Da Silva e Bermann (2002). Os autores realizaram um estudo de caso com a comunidade isolada do igarapé Combu localizada na ilha do Combu a uma distância aproximativa de 1,3 km da zona urbana do município de Belém. Começaram pelas análises sócio-econômica e energética da comunidade. Em seguida, identificaram a demanda energética da comunidade do igarapé Combu, para analisar as alternativas de oferta de energia. Enfatizando:

Existem várias alternativas possíveis para efetuar o atendimento da demanda elétrica da comunidade do igarapé Combu: grupo gerador a diesel, sistema fotovoltaico, aerogeradores, gaseificação a partir de resíduos de biomassa, maré-motriz, conexão à rede elétrica via cabo submerso, porém, surge uma pergunta inevitável. Qual destas alternativas possui custos mais baixos, impactos sócio-ambientais gerenciáveis e viabilidade tecnológica? (DA SILVA; BERMAN,2002, p.6).

Ou seja, os objetivos da análise são: menor custo, viabilidade local, desenvolvimento social e impacto ambiental moderado. Levando esta

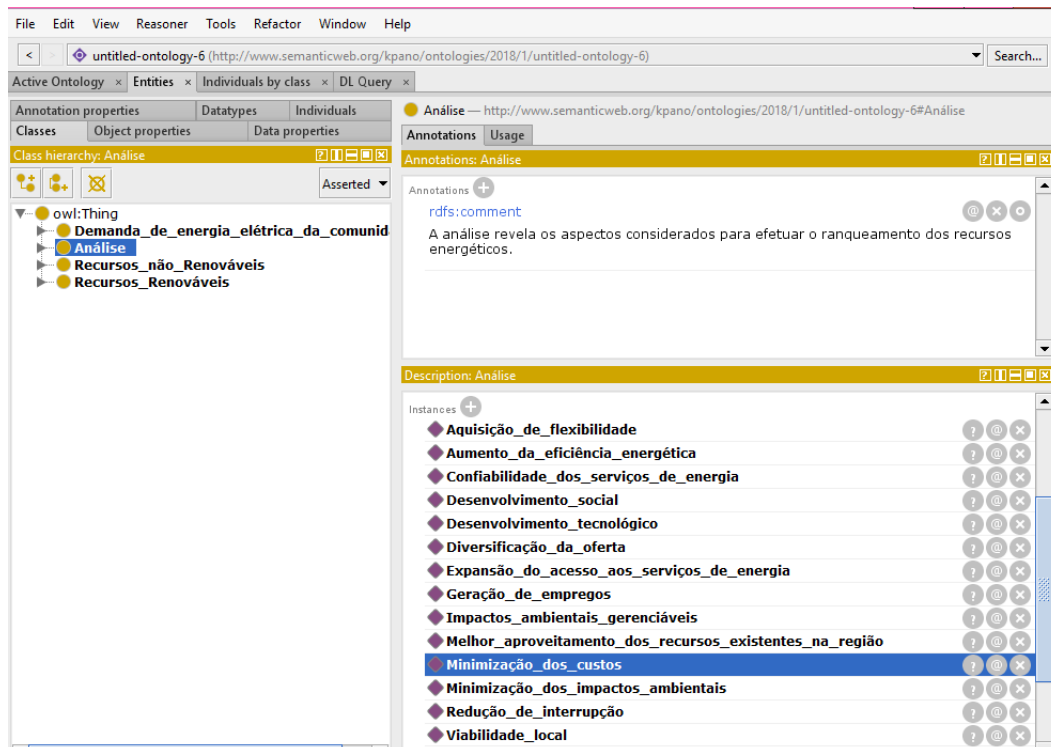
experiência para o modelo desenvolvido em PROTÉGÉ, as figuras 24 e 25 ilustram respectivamente a demanda energética diária da comunidade e os objetivos escolhidos no nível da análise.

Figura 24: Demanda energética diária da comunidade de Igarapé Combu



Fonte: Autora (2018).

Figura 25: Os objetivos da análise

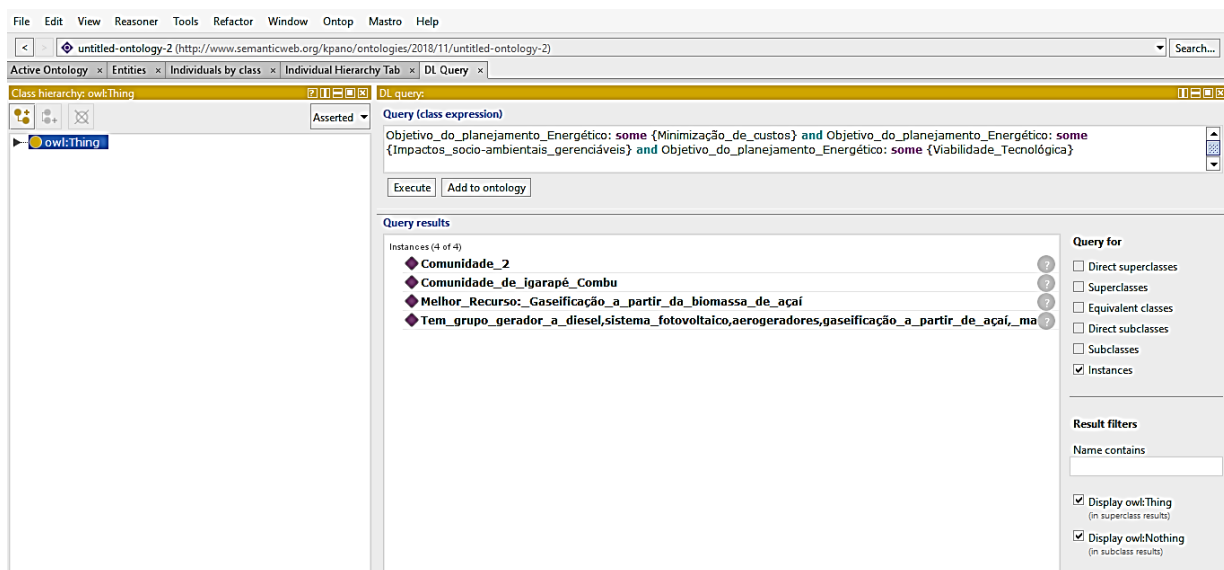


Fonte: Autora (2018).

Considerando que o usuário precisa efetuar um planejamento energético que atende aos mesmos objetivos da Comunidade Igarapé Combu, o resultado da figura 26 é obtido ao executar o comando:

Objetivo_do_planejamento_Energético: some {Minimização_de_custos}
 and Objetivo_do_planejamento_Energético: some {Impactos_socio-ambientais_gerenciáveis} and Objetivo_do_planejamento_Energético: some {Viabilidade_Tecnológica}

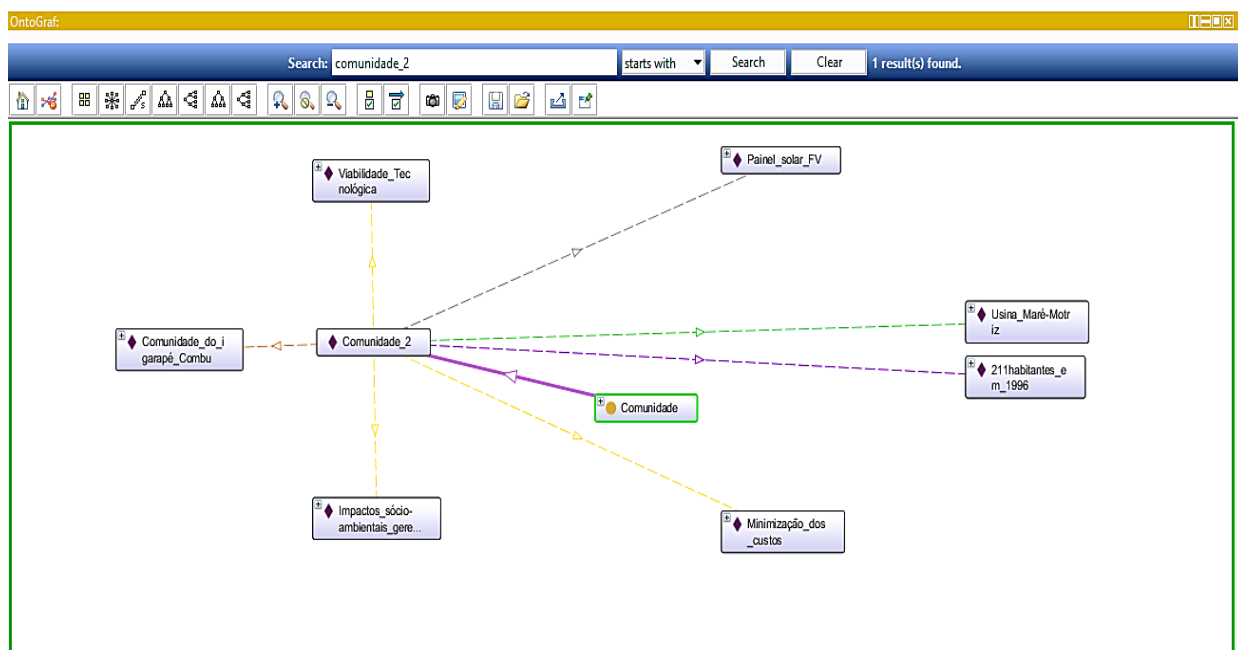
Figura 26: Resultado da DL Query



Fonte: Autoria própria (2018).

O *OntoGraf* apresenta o resultado na forma gráfica com mais detalhe sobre as características da comunidade (figura 27).

Figura 27: Resultado no OntoGraf



Fonte: Autoria própria (2018).

O resultado obtido da implementação deste estudo de caso coincide também com o recurso energético sugerido pelos autores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia elétrica é um insumo primordial para o desenvolvimento da sociedade. As comunidades isoladas costumam ser prejudicadas pelo fato de serem afastadas dos grandes centros de consumo. No Brasil, vários estudos estão sendo realizadas para atender demanda de determinadas comunidades. O modelo desenvolvido neste trabalho pretende se dedicar ao planejamento energético no meio rural, trazendo experiências relatadas nos estudos de caso para construir um futuro sistema inteligente de apoio à decisão nesta área.

O modelo foi desenvolvido em forma de ontologia através do editor *PROTÉGÉ*. O raciocínio lógico construído em cada experiência parte da demanda energética da comunidade, ao seu potencial energético para se basear sobre os objetivos da análise a fim de indicar o melhor recurso adaptado para a situação.

Nesta fase da avaliação, foram implementados dois estudos de caso de comunidades diferentes com diferentes realidades para validar o modelo. A intenção é de continuar com o modelo acrescentando mais estudos de casos tanto no plano nacional como internacional para identificar mais experiências e deixar o sistema mais inteligente. Afinal, chegando num certo nível de expertise do modelo, será disponibilizado para fazer um aplicativo ou site de apoio à decisão em planejamento no meio rural a partir de semelhança de caso.

REFERÊNCIAS

AALBORG. Aalborg Industries. **Livro Técnico**. 15 p. Edição própria. Rio de Janeiro, 2008.

ABIB. Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa Renovável. **Atlas Brasileiro Biomassa Florestal e Industrial e Agroindustrial** (2015). Paraná.

Aggreko va fournir 100 mégawatts au Bénin. Disponível em: < <https://tinyurl.com/y8l4n2gh>>. Acesso em 12 de Outubro de 2016.

ALBARELLO, L. **Guia para a implantação de pequenas centrais hidrelétricas-PCHs**. 2014. 37 f. TCC (Especialização)- Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos. Universidade Federal de Santa Maria. Panambi, Rio Grande do Sul, 2014.

ALEXANDRE, L. H. Z. **Combustível ecológico a partir de resíduos de biomassa e rejeitos de carvão mineral**. 2016. 95 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química). Universidade de Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2016.

ALMEIDA, A. R. de. **Indicadores energéticos: instrumentos de apoio ao desenvolvimento sustentável**. 2016. 131f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós- Graduação em Tecnologia, Universidade tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008).Parte I Energia no Brasil e no mundo. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf>. Acesso em 10 de outubro de 2016.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução nº456, de 29 de Novembro de 2000. 2000. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bres2000456.pdf>>. Acesso em: 03 de set. 2017.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2017). BIG-Banco de Informações de Geração. Disponível em: < <https://tinyurl.com/yaxykjw9> >. Acesso em 14 de outubro de 2017.

AZEVEDO, A. R. P. **Desempenho energético em sistemas fotovoltaicos – fixo vs seguidor solar**- 2016. 143 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, 2016.

BAILÃO, R. O. **Estudo do potencial eólico e análise de regiões propícias à instalação de microcentrais e minicentrais eólicas no Paraná**. 2016. 37f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental)-Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

BAO, Q.; WANG, J.; CHENG, J. **Research on ontology modeling of steel manufacturing process based on Big Data Analysis**. In: MATEC Web of Conferences, 2016.

BENFENATTI, M. V. C. **Aproveitamento do potencial geotérmico em mina subterrânea: um estudo de revisão bibliográfica**. 2017. 63f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas)- Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

BERNAL, J. L. O. **Modelo de integração de recursos energéticos com consideração de delimitadores de potenciais de recursos energéticos visando o plano preferencial do planejamento integrado de recursos**. 2018. 145 f. Tese (Doutorado)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.

BINOTTO, J. M. **Seleção e operação ótima de tecnologia para o aproveitamento de biogás na geração de energia elétrica**. 2017. 85 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Foz Iguaçu, 2017.

Boletim Legislativo nº27 de 2015- **A crise hídrica e suas consequências**. 2015. Disponível em:< <https://tinyurl.com/y7ljuuc4> >. Acesso em: 10 de out. de 2017.

BONFIM, H. V.; SANTOS, S. F.; SILVA, L. I. S.; PRIMO, A.; MENDONÇA, M. A. S. S. **Utilização de conceitos de cálculo para verificação de eficiência de uma placa solar**. Cadernos de graduação- Ciências exatas e tecnológicas. Aracaju. Volume 4. Março 2017.

CANY, C. **Interactions entre énergie nucléaire et énergies renouvelables variables dans la transition énergétique en France : adaptations du parc électrique vers plus de flexibilité**. 2017. 347 f. Tese (Doutorado)- Université Paris- Saclay, 2017. Disponível em:< <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01509918/document>>. Acesso em : 22 Nov. 2017.

CASTANHO, E; OLIVETTE, M. **São Paulo: do desmatamento às novas fronteiras 1980-2015**. Revista USP, São Paulo, n.72, 2016.

CEMIG. **Alternativas energéticas: uma visão**. Belo Horizonte, 2012.

CENBIO- Centro Nacional de Referência em Biomassa. Org. COELHO, S. T. et al. **Atlas de bioenergia do Brasil**. São Paulo : CENBIO, 2008.

CERQUEIRA, G.A. et al. **A crise Hídrica e suas Consequências**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, abril/2015 (Boletim Legislativo nº27, de 2015). Disponível em: < <http://www2.senado.leg.br/estudos>>. Acesso em: 25 set. 2017.

Conferência de Abertura da Jornada da Renascença Científica da África 2013. Disponível em:

< <https://tinyurl.com/yd33tv48> >. Acesso em 18 de setembro de 2016.

COPEL. **Atlas do Potencial Eólico do Estado de Paraná-2007.** Disponível em:

< http://www.copel.com/download/mapa_eolico/Atlas_do_Potencial_Eolico_do_Estado_do_Parana.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2017

COUTO, L.C.; COUTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; CÂMARA, D.; **Vias de Valorização Energética da Biomassa.** Biomassa & Energia, v.1, p71-92,2004.

COTRIM, A. A. M. **Instalações Elétricas.** 3. Ed.- São Paulo: Makron Books, 1992.

DEMATTE, R. D. **Avaliação da inserção de geração distribuída no sistema de distribuição de energia elétrica brasileiro utilizando métodos multicritério.** 2017. 112 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana –Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2017.

DE SOUZA, Z.; SANTOS, A. H. M.; BORTONI, E. C. **Centrais hidrelétricas: estudos para implementação.** Eletrobrás, 1999.

DUARTE, M. M. **Análise técnico-econômica acerca da implementação de geração solar fotovoltaica no centro de ensino médio de Taguatinga norte.** 2016. 153 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica)- Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

ELETROBRAS. **Manual de microcentrais hidrelétricas.** Rio de Janeiro: Eletrobrás revisado em 2013.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Inventário Energético de Resíduos Rurais (2014).** Rio de Janeiro.

FARRET, Alberto Felix. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica.** 1999. Editora UFSM, Santa Maria, 1999.

FREITAS, G. M. **Biomassa, uma fonte de energia.** 2016. 124 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

GAMA, J. O. **Painel fotovoltaico de baixo custo.** 2014. 78 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

GAUTHIER, T. G. **Revista O Papel**, n. 9, p. 62-64, 1986.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energias Renováveis: um futuro sustentável**. Revista USP, São Paulo, n.72, p. 6-15, dezembro/fevereiro 2006-2007.

GOLDEMBERG, José. **Biomassa e energia**. In: QUÍMICA NOVA. Vol 3. 2009, São Paulo: Universidade de São Paulo-USP, 2009.

GOMES, L. S. **Avaliação do potencial energético aplicado a uma usina termelétrica de fontes renováveis**. 2016. 95 f. Monografia (Graduação em Engenharia Energia)- Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

GILLANI, S.; LAFOREST, F.; PICARD, G. **Prosumer-Oriented Smart Grid Otonology**. 2014. Disponível em: < <https://tinyurl.com/y8lvu74m> >. Acesso em: 11 de Outubro de 2018.

HILÁRIO, M. Q. **Uso de análise exegética para diagnóstico de centrais nucleares com reatores PWR**. 2017. 165 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2017.

HOUNKPATIN, P. **L’Energie électrique au Bénin : état des lieux et perspectives de développement par adoption d’une nouvelle politique nationale**. CONFERENCE INAUGURALE DE JRSA 2013 (Journée de la Renaissance Scientifique de l’Afrique 2013). Cotonou, 2013.

JANNUZZI, Gilberto de Martino; SWISHER, Joel N. P. **Planejamento integrado dos recursos energéticos**. São Paulo: Autores Associados, 1997.

JUNIOR, D. B. **Uso da técnica do Planejamento Integrado de Recursos – PIR, para a avaliação da disponibilidade de geração de energia elétrica no Litoral Norte Paulista**. 2016. 186 f. Dissertação (Mestrado)-Instituto de Sistemas Elétricos e Energia, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2016.

KANAYAMA, P. H. **Mecanismos de desenvolvimento limpo no Planejamento Integrado de Recursos Energéticos-PIR**. 2007. 432 f. Dissertação (Doutorado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

KINTO, O. T.; BERNAL, J. L. O.; GIMENES, A. L. V.; UDAETA, M. E. M. **Sustainable energy Technologies in the industry using integrated energy resources planning**. 2nd International Conference on Advances on Clean Energy Research, ICACER 2017. Berlin, Abril 2017.

LIMA, L. C. A.; GONÇALVES, P. R. C. **Desafios do desenvolvimento sustentável: estudo sobre as mudanças na matriz energética brasileira**. 2016. 135 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

LIMA, R. W.; OLIVEIRA, A. M. de; SILVA, P. A.; SILVA, M. G. P. da. **Ontologia para gerenciamento de Objetos de Aprendizagem**. VI Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2017). Recife, Outubro 2017.

MANRIQUE, A. K. R. **Diretrizes para a sustentabilidade de uma minirrede de sistemas solares fotovoltaicos em uma região isolada da Colômbia.** 2015. 160 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

Mapa do Benim. Disponível em:<<http://gouv.bj/communes/>>. Acesso em 21 de agosto de 2017.

MARUYAMA, F. M. **Arquitetura do plano preferencial de recursos para o setor elétrico no Planejamento Integrado de Recursos Energéticos.** 2013. 288 f. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

MAXIMIANO, A. C. A. **Introdução à administração.** 6 ed. São Paulo: Atlas, 2004.

MEDEIROS, João Bosco. **Redação Científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MERIGUE, R.; SILVA, R. S. **Estudo de turbinas para hidrelétricas de Roncador-Bocaiúva do Sul.** 2013. 63 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MESQUITA, J. M. **Método de avaliação do nível de sustentabilidade de programas de eletrificação rural com sistemas fotovoltaicos individuais.** 2014. 116 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

MME, “Plano Nacional de Energia 2030”, Ministério de Minas e Energia, 2008.

MORANTE, F.; ZILLES, R. Medidas de consumo em sistemas fotovoltaicos domiciliares. In: **Anais do terceiro Encontro de Energia no Meio Rural 2000**, São Paulo: AGRENER 2000, Campinas, SP.

MUHON, Bernard. **Stocker l'électricité : Oui, c'est indispensable, et c'est possible ! pourquoi, où, comment.** 2003. Disponível em: <https://e-nautia.com/clubargon/disk/Partage/ERMs_ETM/Energies_Ecrin_Multon_Ruer.pdf>. Acesso em: 03 set. 2017.

MUNIZ, R. N. **Desafios e oportunidades para o acesso universal à energia elétrica na Amazônia.** 2015. 170 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Instituto de Tecnologia/ Universidade Federal do Pará. Belém, 2015.

MUNIZ, R. N.; Da ROCHA, B. R. P. **Gaseificação de biomassa residuária na Amazônia: Estudo de caso em Comunidade Quilombola no Pará.** 8º Congresso Internacional de Bioenergia. São Paulo, Novembro 2013.

NARUTO, D. T. **Vantagens e desvantagens da geração distribuída e estudo de caso de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica.** 2017. 97 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica)- Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

NASCIMENTO, R. S.; ALVES, G. M. **Fontes alternativas e renováveis de energia no Brasil: métodos e benefícios ambientais.** In: XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, VI Encontro de Iniciação à Docência- Universidade do Vale do Paraíba. 2016.

NING, K.; O'SULLIVAN, D.; ZHU, Q.; DECKER, S. "Semantic innovation management across the extended enterprise", IJISE, vol. 1, nº 1/2, página 109-128, 2006.

NOY, N. F.; McGuinness, D. L. *Ontology Development 101: A guide to creating your first ontology*, 2001. Disponível em: < <https://tinyurl.com/y8zyck8o> >. Acesso em: Setembro 2017.

OLIVEIRA, B. A. **Conhecendo os componentes de uma usina hidrelétrica.**- São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

PERIUS, M. R.; CARREGARO, J. B. **Pequenas centrais hidrelétricas como forma de redução de impactos ambientais e crises energéticas.** Revista Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, vol.16, nº2, 2012.

PINTO, Y. V. **Análise das políticas públicas para eletrificação rural no Brasil: resultados e diretrizes.** 2017. 47 f. Monografia (Graduação em Engenharia em Energia)- Universidade Federal de Santa Catarina. Araranguá, 2017.

Política energética no Brasil. Disponível em:
< <https://tinyurl.com/y8p9wtlv>>. Acesso em 11 de outubro de 2016.

PRETO, E. V.; MORTOZA, G. L. **Geração de energia elétrica utilizando biomassa.** 2010. 92 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica)- Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica.** 2. Ed. São Paulo: Manole Ltda, 2015.

RICARDO, G.; MACHADO, I. C. L.; ZEM, V. R. H. **Estudo da complementariedade entre as fontes eólica e solar fotovoltaica na matriz elétrica do Estado do Paraná.** 2015. 138f. Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação em Engenharia Elétrica/ Controle e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

RIGOLIN, P. H. C. **Desenvolvimento de um sistema para classificar Recursos Energéticos de Oferta e Demanda com base no cômputo e na valorização do potencial completo dos recursos energéticos dentro do Planejamento Integrado de Recursos.** 2013. Tese (Doutorado)- Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

RONCHI, F. P.; SCHAEFFER, L. **Classificação das Tecnologias para Conversão de Energia das Ondas.** In: 3ª Conferência Internacional de Materiais e Processos para Energias Renováveis-RENOMAT. Porto Alegre/RS. Brasil. 2013.

ROQUE, B. A. S.; LIMA, N. A.; ZONER, T. S.; COSTA, T. A. G. **Ontologia conceitual para representação do conhecimento.** Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM- REGRAD. Marília/SP, v.10, n. 1, p 13 – 28, outubro de 2017.

ROSA, V. H. **Energia elétrica renovável em pequenas comunidades no Brasil: em busca de um modelo sustentável.** 2007. 440 f. Tese (Doutorado)- Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

SANTOS, J. M. **Avaliação histórica do planejamento energético brasileiro e considerações sobre a introdução de novas tecnologias.** 2017. 110 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.

SATO, M. **Avaliação do potencial energético em microescala de CASCAVEL e região.** 2015. 87 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel, 2015.

SEIXAS, S. M. G. **Dimensionamento numérico de soluções eficientes baseadas em energia eólica.** 2016. 114f. Dissertação (Mestrado)- Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2016.

SILVA, D. G. P. **Potencial de geração de energia por fontes renováveis para estações estratégicas e isoladas de sinalização náutica da Marinha do Brasil.** 2014. 250 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE/ Universidade Federal de Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

SILVA, H. S. C. da; SALES, E. C. de; SOUZA, T. C. de. **Energias renováveis.** Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, v. 2, n.1, p. 191-198, 2012.

SILVA, M. V. M.; BERMANN, C. **O planejamento energético como ferramenta de auxílio às tomadas de decisão sobre a oferta de energia na zona rural.** Anais 4 do Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.

SILVA, R. G.; CARMO, M. J. **Energia solar fotovoltaica: uma proposta para melhoria da gestão energética.** International Scientific Journal nº2, volume 12, article nº8, 2017.

SOARES, C. D.; SILVA, S. T. **Direito das Energias Renováveis.** Edições Almedina, S.A. Coimbra, 2014.

SOARES, T. S.; OLIVEIRA, A. C.; **Uso da Biomassa Florestal na Geração de Energia.** Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal. Ano IV, número 8, 2006.

SOUZA, André Nunes de ; COSTA JUNIOR, Pedro da ; ZAGO, Renato de Oliveira Maria Goretti; PAPA, João Paulo; GASTALDELLO, Danilo Sinkiti. **Algoritmos para estimar curvas de cargas a partir de padrões de Hábitos de Consumo.** Dincon'10, 9º Brazilian Conference on Dynamics, Control and their Applications, 2010.

STEINMETZ, T. R. **Extração de regras de conhecimento a partir de redes neurais artificiais aplicadas para a previsão de demanda por energia elétrica.** 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado)- Pós-Graduação em Computação Aplicada, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2009.

SUÁREZ, J. F. G. **Ontologias e DSLs na geração de sistemas de apoio à decisão, caso de estudo SustenAgro.** 2017. 139 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Ciências de Computação e Matemática Computacional. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2017.

TEIXEIRA, C. N. C. **Incorporação de sistemas solares fotovoltaicos numa indústria agroalimentar.** 2016. 104 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, 2016.

UHLIG, A. **Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para a estimação do consumo.** 2008. 156 f. Tese (Doutorado)- Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2008.

Vale do Rift. Disponível em: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Vale_do_Rift>. Acesso em: 06 de set. 2017.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica.** Editora Erica. São Paulo, 2012.

Washington Post-1.3 billion are living in the dark. Disponível em: < <https://tinyurl.com/ybdqoqpu> >. Acesso em 16 de Setembro de 2016.

WILTSEE, G.A. **Lessons learned from existing biomass power plants.** California, BIOMASS, A GROWTH OPPORTUNITY IN GREEN ENERGY AND VALUE-ADDED PRODUCTS. In : Proceedings of the 4th Biomass Conference of the Americas, 1999.

WORLD ENERGY OUTLOOK 2011. Disponível em:
< <https://tinyurl.com/yblsx8nx>>. Acesso em 20 de setembro de 2016.