

ALUNOS

Giovanna Cabral Silva

João Victor da Silva Paschoal

José Rafael R. Nascimento

Luiz Raphael C. L. Reis

Matheus Batista de Andrade

TRABALHO DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

ESTUDO SOBRE FONTES DE ENERGIAS: USOS E IMPACTOS

São Paulo, SP

2020

ALUNOS

Giovanna Cabral Silva

João Victor da Silva Paschoal

José Rafael R. Nascimento

Luiz Raphael C. L. Reis

Matheus Batista de Andrade

ESTUDO SOBRE FONTES DE ENERGIAS: USOS E IMPACTOS

Relatório final disciplina ACH0041 –
Resolução de Problemas I.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Nakano

São Paulo, SP

2020

RESUMO

Este relatório contém um resumo técnico de algumas das principais formas de geração de energia renovável em situação tecnológica e economicamente viável, conforme critérios dos autores, baseados na quantidade de publicações e uso comercial em “larga escala” globalmente.

A princípio é feita uma contextualização histórica, onde são resgatados alguns marcos importantes, para relembrar a magnitude dos benefícios que foram possíveis no mundo com o domínio e maximização dos processos de geração de energia, assim como os prejuízos, alguns irreparáveis na escala humana.

Com isso é apresentado nossa motivação, resumidamente, de compor uma base sólida de conhecimento com detalhamento técnico, que permite ser usado em outros trabalhos e/ou no desenvolvimento de projetos, ao mesmo tempo que mantém uma didática passível de disseminação em massa para fomentar discussões acerca de um desenvolvimento sustentável.

Nesse contexto, nossos objetivos são descritos de forma detalhada, como o conjunto de tabelas e estudos propostos que servirão de base para as classificações dos resultados finais. Em seguida, é apresentado a revisão bibliográfica utilizada no desenvolvimento deste relatório.

Palavras chaves:

- Energias Renováveis
- Desenvolvimento sustentável
- Responsabilidade ambiental

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Desafio 7 dos 17 objetivos da ONU para mudar o mundo	11
Figura 2: Distribuição Matriz Energética Mundial	19
Figura 3: Distribuição do Fluxo de Energia Global.....	20
Figura 4: Reservas provadas de petróleo no mundo em 2002	21
Figura 5: Reservas mundiais de carvão mineral no mundo em 2002	22
Figura 6: Reservas mundiais de gás natural no mundo em 2002	22
Figura 7: Localização de usinas de geração energia elétrica no Brasil	23
Figura 8: Usinas de geração energia elétrica no Brasil por potencial	23
Figura 9: Formas de geração de energias renováveis selecionadas	24
Figura 10: Suprimento total de energia primária mundial 2004	25
Figura 11: Matriz Elétrica Mundial em 2016	26
Figura 12: Fluxograma de energia biomassa sem cogeração	27
Figura 13: Fluxograma de energia biomassa com cogeração	28
Figura 14: Potencial Teórico brasileiro	29
Figura 15: Balanço energético etanol a partir diferentes matérias-primas ..	30
Figura 16: Fluxograma completo do sistema de cogeração	32
Figura 17: Esquematização cogeração bagaço de cana	33
Figura 18: Esquematização Energia Eólica	41
Figura 19: Aerogerador	41
Figura 20: Produção anual de energia em Itaipu (GWh)	48
Figura 21: Usina Maremotriz	49
Figura 22: Turbinas de correntes em Strangford Loch	49
Figura 23: BIG	50
Figura 24: Usina CEMIG em Miranda	51
Figura 25: Esquema representativo da conversão na turbina	52
Figura 26: Esquema Usina Hidrelétrica	53
Figura 27: Potencial de produção de energia de fontes renováveis	57
Figura 28: Funcionamento simplificado das células solares	57
Figura 29: Variação da tensão e corrente em uma célula solar	58

Figura 30: Média Anual Brasil de insolação de 1983 a 2005	58
Figura 31: Modelo centralizado de geração de energia	59
Figura 32: Modelo distribuído de geração de energia	60
Figura 33: Etapas de fabricação de polisilício a wafer	61
Figura 34: Célula Solar monocristalina	61
Figura 35: Equipamentos para geração fotovoltaica em uma residência	62
Figura 36: Seguidores solares	63
Figura 37: Retornos financeiros sobre instalação fotovoltaica	69
Figura 38: Cadeias de transformação energética não renovável	70
Figura 39: Cadeias de transformação energética renovável.....	71
Figura 40: Equivalências energéticas	72
Figura 41: Simulação fotoelétrica para Amazonas	81
Figura 42: Simulação fotoelétrica para Pernambuco	82
Figura 43: Simulação fotoelétrica para São Paulo	83
Figura 44: Simulação fotoelétrica para EACH	84
Figura 45: Consumo mensal de abril/2019 EACH-USP	85
Figura 46: Consumo mensal de maio/2019 EACH-USP	85
Figura 47: Consumo mensal de junho/2019 EACH-USP	85
Figura 48: Consumo mensal de setembro/2019 EACH-USP	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Investimento e energia gerada (biomassa)	34
Tabela 2: Preço energia e consumo (biomassa)	34
Tabela 3: Geração energia e custo (biomassa)	35
Tabela 4: Preço de venda e custo evitado (biomassa)	35
Tabela 5: Rendimento e %metano (biogás)	36
Tabela 6: Geração anual (biogás)	37
Tabela 7: Recuperação do biogás e capacidade máxima (biogás)	38
Tabela 8: Itens e custos (biogás)	38
Tabela 9: Itens e custos (2) (biogás)	39
Tabela 10: Preço venda e investimento (biogás)	39
Tabela 11: Maremotriz x Hidrelétrica (maremotriz)	46
Tabela 12: Custo de manutenção (maremotriz)	47
Tabela 13: Potência x eficiência (hidrelétrica)	55
Tabela 14: Queda x vazão e potencial (hidrelétrica)	56
Tabela 15: Produção estimada (solar)	66
Tabela 16: Valores médios simulados para geração fotovoltaica no Brasil	68
Tabela 17: Potencial energias não renováveis	72
Tabela 18: Vantagens	73
Tabela 19: Desvantagens	74
Tabela 20: Exemplos e dados quantitativos	75

LISTA DE ABREVIATURAS

ABEEÓLICA	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas
COGEN	Associação da indústria de cogeração de energia
GN	Gás Natural
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MMA	Ministério do Meio Ambiente
USP	Universidade de São Paulo
EACH	Escola de Artes, Ciências e Humanidades
O&M	Operação e Manutenção
UTE	Usina Termelétrica
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature
ONU	Organização das Nações Unidas

SUMÁRIO

RESUMO	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE ABREVIATURAS	7
SUMÁRIO	8
1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Contextualização e Motivação	11
1.2 Objetivos do Trabalho	12
1.3 Organização da Monografia	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Trabalhos Relacionados	14
3. QUESTÃO DE PESQUISA	15
4. METODOLOGIA	16
4.1 Procedimentos	16
4.2 Coleta	17
4.3 Análises	17
5. ENERGIA	19
5.1 Conceitos	19
5.2 Matrizes	19
5.3 Fluxo de Energia	20
5.4 Disponibilidades	21
5.5 Brasil	23
6. FORMAS DE GERAÇÃO	24
6.1 Biomassa	25
Histórico	25
Cogeração	27
Gaseificação	29
Biocombustível	30
Biogás	31
Biomassa como energia elétrica	31
6.2 Eólica	40
Instalação e distribuição	41
Desempenho de produção	42
Custos de instalação e manutenção	44

6.3 Maremotriz	45
Vantagens e desvantagens	45
Custo/Benefício e custo de instalação	46
Custo de manutenção	47
Volume de energia gerado	47
Aproveitamento das Marés	49
6.4 Hidrelétrica	50
Definição	50
Modelo de Conversão	52
Modelo de Distribuição	52
Desempenho	53
Cálculo da Eficiência e Rendimento	54
6.5 Solar Fotovoltaica	57
Modelos de Distribuição	59
Fabricação	61
Instalação	62
Manutenção	64
Desempenho	65
Desafios	67
Estudo de Caso	68
6.6 Cadeias de Transformação Energética	70
7. RESULTADOS	73
8. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	77
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
10. MATERIAL SUPLEMENTAR	81
10.1 APÊNDICES	81
10.2 ANEXOS	85
BIBLIOGRAFIA	86

1. INTRODUÇÃO

Durante a história do desenvolvimento humano, grandes mudanças ocorreram quando novas formas de transformar a natureza foram compreendidas, dominadas, maximizadas e usadas para benefício próprio; isso teve início na agricultura e na domesticação animal, passando pelo motor à vapor, sua evolução para combustão, causando grandes revoluções industriais até o poder exponencial do mundo atômico.

Neste processo, a ciência conseguiu fornecer evidências que permitiram desenvolver novas formas de usufruir da energia emanada das diversas fontes com o auxílio de máquinas para que, de alguma forma, elas fossem controladas para atender os interesses humanos. Para essa mudança no mundo elas passaram a ser “alimentadas” com os diferentes combustíveis desenvolvidos no decorrer do tempo, em sua maior parte não renováveis, causando impactos “inesquecíveis” ao planeta.

Atualmente, compreender os diversos fatores que afetam desde a geração até o consumo de energia em suas diversas fontes é essencial para, em um primeiro momento sustentar o *modus operandi* da sociedade global e em segundo, tornar mais eficientes os processos, mais acessíveis e consequentemente propor soluções para suportar os aumentos na demanda.

Sob o ponto de vista social, é possível observar uma relação entre a quantidade de energia consumida *per capita* de um país e seu nível de desenvolvimento, pois o acesso à ela permite melhores condições de vida, de recursos para serviços de saúde e educação, entre tantas outras coisas proporcionadas pela alta tecnologia do mundo contemporâneo, com isso, é de extrema importância manter em pauta as atenções para essas questões de base, pensando sempre como garantir um desenvolvimento sustentável.

Figura 1: Desafio 7 dos 17 objetivos da ONU para mudar o mundo



Tal importância foi reforçada quando o tema foi selecionado pela ONU (energia limpa e acessível) como um dos objetivos para mudar o mundo, assim, dentro das pesquisas, obter o conhecimento sobre potenciais e atuais fontes de energia é indispensável para se planejar um futuro para a humanidade e toda vida na Terra.

(Fonte: ONU)

1.1 Contextualização e Motivação

Dado o contexto, o objetivo deste trabalho é analisar como a sociedade humana captura e converte diferentes formas de energia disponíveis no planeta comparando aspectos técnicos, econômicos e ambientais, para que assim seja possível a análise total de todos os aspectos de cada uma destas formas e com isso diversas conclusões e construções sejam formuladas.

A motivação é prover acesso a informação de qualidade de forma ampla, fazendo uso de recursos didáticos.

1.2 Objetivos do Trabalho

Objetivos Específicos

- Construir uma tabela com pontos positivos e negativos de cada energia;
- Organizar um gráfico com custo (KW) de cada energia (montagem e produção);
- Organizar um gráfico com produtividade de cada energia (KWh);
- Cruzar os dados da tabela e dos gráficos produzidos;
- Aplicar os dados em exemplos;
- Fomentar a discussão e incentivar o aprofundamento teórico sobre as discussões atuais que envolvem a energia elétrica e a preocupação com o meio ambiente, através da divulgação científica.

1.3 Organização da Monografia

O relatório está organizado, para cada forma de geração, de modo a explicar inicialmente do que se trata a energia, seu histórico e evolução até os dias atuais. Em seguida, serão demonstrados as potencialidades de cada energia com intenção de demonstrar a vasta disponibilidade que eles representam e o “desperdício” que é deixar de usá-las em troca dos combustíveis fósseis.

Serão apresentados também os processos de fabricação, construção e manutenção de alguns componentes desses sistemas, assim como o processo de cálculo para dimensionamento dos projetos, alguns baseados em projetos reais e outros em simulações comerciais para implantação.

Os anexos encontrados no final se referem às simulações realizadas e apontadas no decorrer deste relatório.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A montagem do trabalho partiu de uma densa e rigorosa pesquisa e coleta de dados pois, devido a situação atual do país e do mundo, não foi possível coletar dados de entrevistas para engrandecimento e refinamento de nosso trabalho. Sendo assim, a pesquisa bibliográfica foi ampla, buscando desde artigos científicos e livros até programas e reportagens sobre energias renováveis e afins.

A bibliografia assim se tornou extensa e recheada de artigos e informativos interessantes. Contudo, o trabalho, como explicado em apresentação, baseou-se em principalmente estes trabalhos:

- Artigo ANEEL por Dellana Wolney. Junho 2014
- Livro “Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento” por Arnaldo Carlos Muller, 1996
- Dissertação de Mestrado: Medição do rendimento global de um sistema fotovoltaico isolado utilizando módulos de 32 células, Rafael Amaral Shayani, 2006
- Livro: Usina Fotovoltaica Jaíba Solar, 2017
- Relatório anual - Itaipu Binacional
- Relatório Potencial de Energias Oceânicas no Brasil
- Artigo Geração de Energia Maremotriz
- Boletim Anual de Geração Eólica 2018 - ABEEólica
- Artigo Projeto Conceitual e Análise de Viabilidade Econômica de Unidade de Geração de Energia Elétrica Eólica na Lagoa dos Patos – RS, 2011
- Análise de custo na Geração de Energia com Bagaço de Cana-de-Açúcar: um Estudo de Caso em Quatro Usinas de São Paulo
- Biogás De Aterros Sanitários Para Geração De Energia Renovável E Limpa - Um Estudo De Viabilidade Técnica E Econômica.
- A Evolução da Cogeração no Brasil

E a partir dos itens acima, que também estão contidos na bibliografia, organizamos boa parte do nosso trabalho, principalmente na parte de definições sobre cada energia e seus respectivos pontos qualitativos e seus valores quantitativos de produção e custo.

2.1 Trabalhos Relacionados

Para fins de curiosidade, como informação básica e não necessariamente dados utilizados no trabalho estão citados a seguir alguns boletins meteorológicos (do Brasil), que como se espera, são os principais indicadores da disponibilidade energética em certos períodos de tempo.

- ABEEOLICA, Associação Brasileira de Energia Eólica -(<http://abeeolica.org.br/>)- 2016:
https://www.ambienteenergia.com.br/wp-content/uploads/2017/05/Boletim_Anual_de_Geracao_Eolica_2016.pdf .
- CHM, Centro de Hidrografia da Marinha Brasileira -(<https://www.marinha.mil.br/>)-:
<https://www.marinha.mil.br/chm/tabcas-de-mare>;
<https://www.marinha.mil.br/chm/estacoes-fluviometricas>;
<https://www.marinha.mil.br/chm/estacoes-maregraficas>;
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -(<http://www2.inpe.br/>)- :
<http://www2.inpe.br/climaespacial/portal/boletim/>.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia -(<http://www.inmet.gov.br>)-:
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>;
http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf.

3. QUESTÃO DE PESQUISA

Com as buscas sobre energia, descobrimos imensa gama de artigos e pesquisas sobre o tema “energias”, “energias renováveis” e sobre seus respectivos pontos e variantes. Porém, não foram encontrados estudos que cruzassem esses vários aspectos, o que nos trouxe a dúvida que será abordada como pergunta principal para a pesquisa.

Com o nosso trabalho, buscamos evidenciar claramente as vantagens de cada tipo de energia e construir uma aplicação prática para gerar conhecimento ou até mesmo facilitar a aplicação de qualquer tipo de energia renovável em qualquer tipo de ambiente, respeitando as suas respectivas necessidades.

“Dentre a exposição das energias renováveis, qual delas seria mais viável e vantajosa para dadas situações?”

Não pudemos encontrar um artigo ou pesquisa que abordasse de maneira tão direta e prática como procuraremos evidenciar neste trabalho, de maneira comparativa e direta, para que haja algum tipo de aplicação.

Dentro deste trabalho buscamos abordar todas as energias e além de gerar um conhecimento básico desenvolvido, buscaremos elaborar maneiras de aplicar de maneira funcional os conhecimentos obtidos, a fim de que seja uma estrutura simples e de fácil entendimento.

4. METODOLOGIA

O método adotado envolve a pesquisa e coleta de dados e informações para o tratamento e análise, a fim de montar tabelas, informativos e tirar conclusões sobre o assunto no geral, bem como gerar uma saída de informações concisas e precisas que servissem como um informativo e uma tabela de fácil entendimento.

O propósito desta pesquisa é de caráter descritivo, baseada em dados secundários, com uma abordagem qualitativa - devido à busca por uma resposta concreta e quantitativa - pois deverá ser embasada por números e dados já existentes, e que deseja responder a pergunta tema deste trabalho.

Pretende-se também analisar qual é a melhor opção energética sustentável em um determinado lugar, visto que é necessário provar a usabilidade daquela matriz em um cenário específico. O alvo da investigação é centrado nos pontos positivos e negativos da energia e geração de volume na produção de cada uma delas.

4.1 Procedimentos

Os principais procedimentos adotados para solucionar a investigação da pesquisa serão:

1. Coletar informações relevantes sobre as formas de se gerar energia, os potenciais, os usos atuais e outros indicadores relevantes, de fontes confiáveis e preferencialmente, artigos científicos;
2. Relacioná-las por meio de tabelas comparativas, que contenham as suas vantagens e desvantagens;
3. Comparar as diferenças entre os locais de aplicação escolhido e sempre utilizando uma base, no caso, a usina hidrelétrica de Itaipu.

4.2 Coleta

A coleta de dados partiu de artigos pesquisados em sites de fonte acadêmica, como o “Scielo” e o “Scholar”. A primeira coleta foi feita para definir a pergunta de pesquisa, bem como tomar conhecimento dos ângulos que o assunto aborda em meio científico, para nortear e ao mesmo tempo tornar-se uma base sólida para o trabalho.

A partir desse passo, passamos a ampliar as coletas para livros, boletins informativos, relatórios de organizações governamentais, outros artigos e afins. Com boa parte dos dados reunidos passamos às análises e conclusões e caso houvesse a necessidade, voltaríamos a coletar dados.

4.3 Análises

As análises dos dados foram correndo de acordo com a construção do trabalho e a coleta dos dados. Foi buscada a neutralidade para a conclusão das informações. Também foi utilizado de escalas e gráficos prontos, bem como imagens representativas para facilitar a explicação de certas informações

4.3.1 Qualitativas:

Os dados qualitativos foram organizados de forma resumida em tabelas que poderão ser encontradas neste trabalho no tópico 7 (Resultados). Há também citação desses dados no tópico 6 (Formas De Geração) para melhor explicação e entendimento dos respectivos tipos de energia explicados e citados.

4.3.2 Quantitativas:

Para esse tipo de análise, foram coletadas e tratadas informações que contivessem algum tipo de “contável”.

Alguns dados sobre custo, geração, potencial de geração, preço, custo de manutenção, tempo de vida útil, tabelas, equações e definições foram buscados e analisados.

Esse é um exemplo de um trecho retirado de um dos artigos e que contém um informativo complexo sobre a análise dos custos das energias:

A análise do custo deve levar em conta todos os custos ao longo de sua vida útil: investimento inicial, custo operacional e de manutenção, combustíveis e custo do capital. Além disso, deve-se conhecer exatamente quanta energia o sistema vai produzir, baseando-se nas eficiências da geração em determinado local. Com poucos dados reais, é difícil calcular exatamente esse custo, chamado de *Levelized Cost of Energy* (LCE, ou LEC).

O custo pode ser calculado como [1]:

$$\text{LEC} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Onde:

- LEC = *Levelized Energy Cost*
- I_t = custo do investimento no ano t
- M_t = custo da manutenção e operação no ano t
- F_t = custo do combustível no ano t
- E_t = geração elétrica no ano t
- r = taxa de desconto
- n = expectativa de vida do sistema

5. ENERGIA

[...]do grego ἐν, "dentro", e ἔργον, "trabalho, obra": ou seja, "dentro do trabalho" [...]

5.1 Conceitos

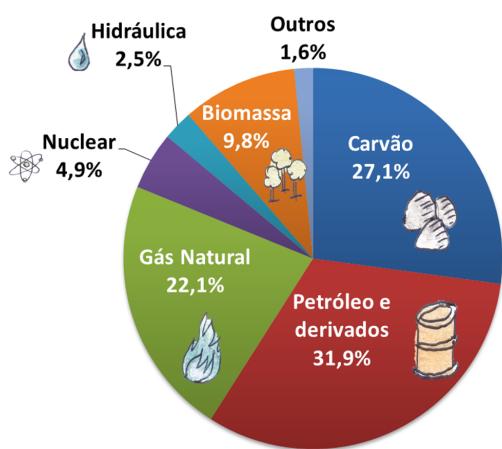
A energia pode ser manifestada e transformada através de diferentes mecanismos na natureza e isso tem chamado a atenção da ciência por séculos. Como podem existir diversos usos para a palavra “energia” e como uma das premissas deste trabalho é minimizar interpretações subjetivas, este capítulo será dedicado a contextualizar os termos usados e garantir que as projeções sejam compreendidas dentro deste contexto pré-estabelecido.

5.2 Matrizes

A matriz energética é o conjunto de todos os recursos utilizados para produzir trabalho em suas diversas formas, por exemplo, o carvão para o aquecimento da água, o petróleo (convertido em gasolina ou querosene) para a locomoção ou até mesmo a fissão nuclear para a geração de energia elétrica para se ligar uma TV.

Enquanto que a matriz elétrica é o grupo de fontes produtoras apenas de energia elétrica como propriamente a conhecemos no dia a dia e usamos nas residências, nos comércios ou na indústria, por exemplo. Nesse contexto, a matriz elétrica é parte da matriz enérgica .

Figura 2: Distribuição Matriz Energética Mundial



A sociedade contemporânea construiu sua matriz energética sobre bases não renováveis e que geram grandes e perigosos prejuízos ao planeta, em seus diversos ecossistemas. As recentes medições desses impactos têm trazido discussões sobre a necessidade de atua-

(Fonte EPE)

lização do modelo pois as projeções sempre apontam para caminhos desastrosos e algumas vezes, irreversíveis.

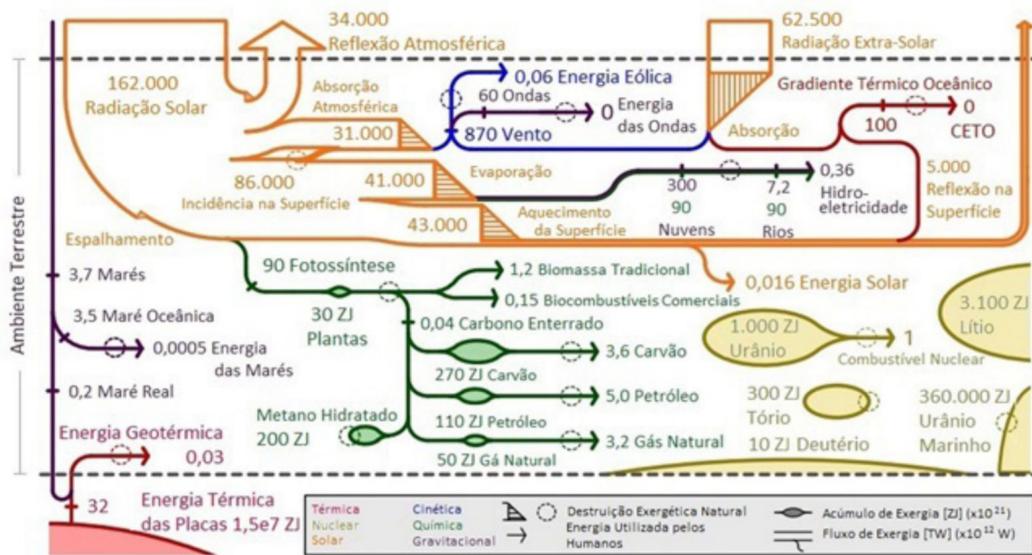
Por mais que inicialmente elas pareçam se sobrepor, existem claras diferenças entre elas e compreender as suas características é importante para desenhar soluções que atendam diversos requisitos.

5.3 Fluxo de Energia

Para visualizar o cenário de forma ampla é imprescindível que olhemos para o fluxo mundial de energia, pois conseguimos assim enxergar quais os caminhos percorridos e onde eles podem ser usados para maximizar a eficiência dos processos atuais de geração.

Sob este ponto de vista o Sol assume um papel protagonista, sendo responsável por enviar à Terra massivos volumes energéticos e influenciar diretamente o ciclo de propagação da energia, conforme pode ser visto na imagem abaixo.

Figura 3: Distribuição do Fluxo de Energia Global



(Fonte: Hermann e Simon, 2007 apud SEBRAE, 2017)

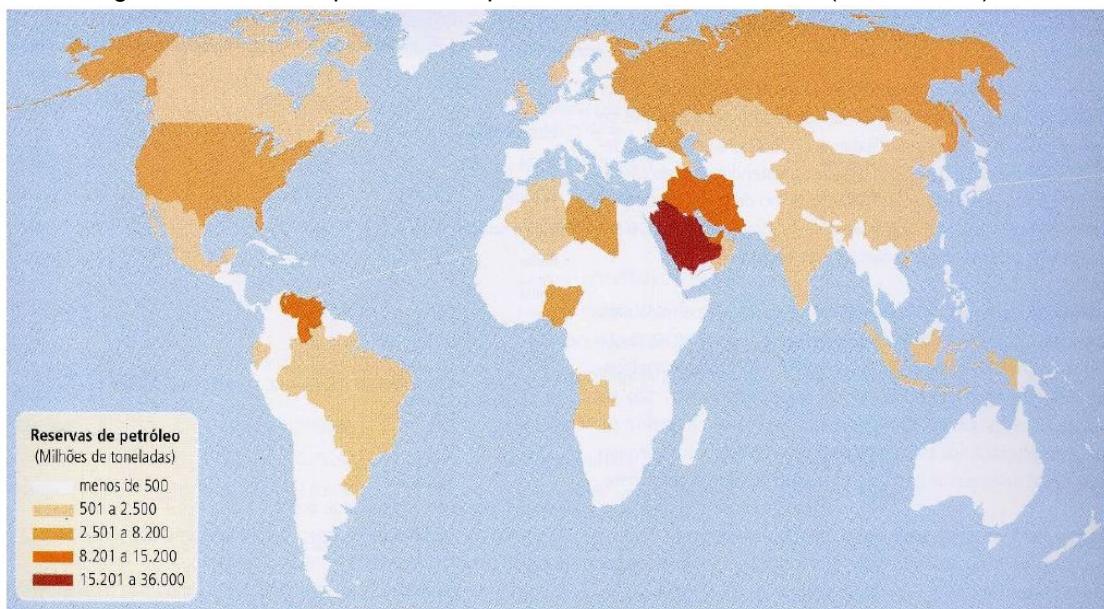
5.4 Disponibilidades

“Considerando o consumo atual e as reservas disponíveis, há previsões de que o petróleo se esgote aproximadamente em 2050, as reservas de gás natural em 2060 e o urânio em 2035.” (Scheer, 2002).

Nesse contexto, é imprescindível que a humanidade inicie o quanto antes o processo de migração das matrizes energéticas pois o colapso pode vir pela falta da matéria-prima, prevista cientificamente, ou através de um colapso global, ambos são apenas uma questão de tempo se nada for otimizado.

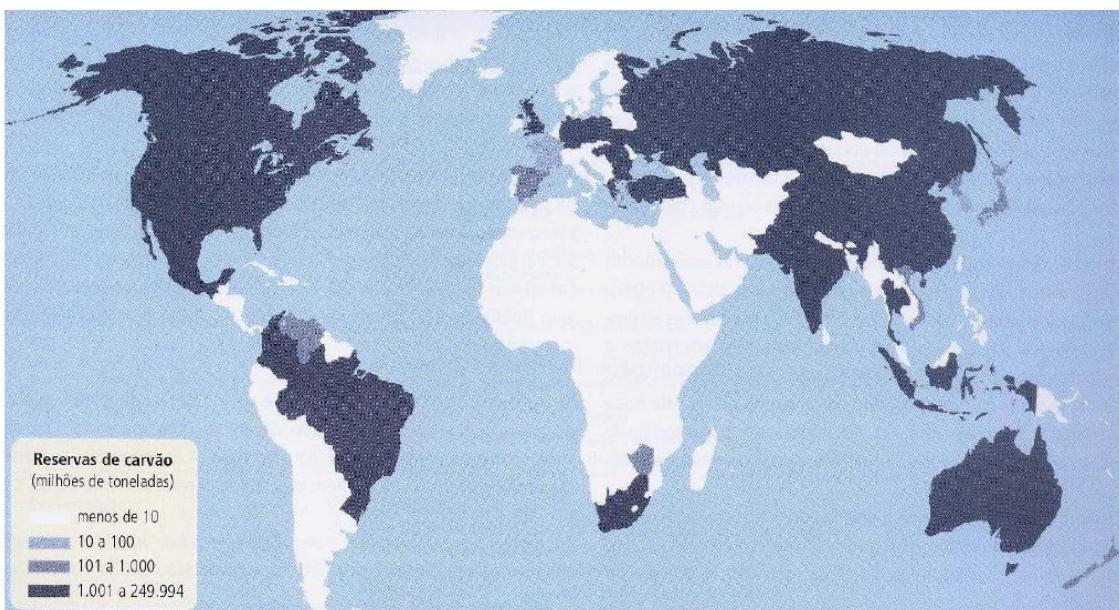
Além disso, a distribuição das reservas não é homogênea pelo planeta, o que gera uma necessidade de movimentação destas commodities energéticas o que gera mais poluição e perda de eficácia. Isso pode ser observado nos mapas a seguir.

Figura 4 - Reservas provadas de petróleo no mundo em 2002 (milhões ton.)



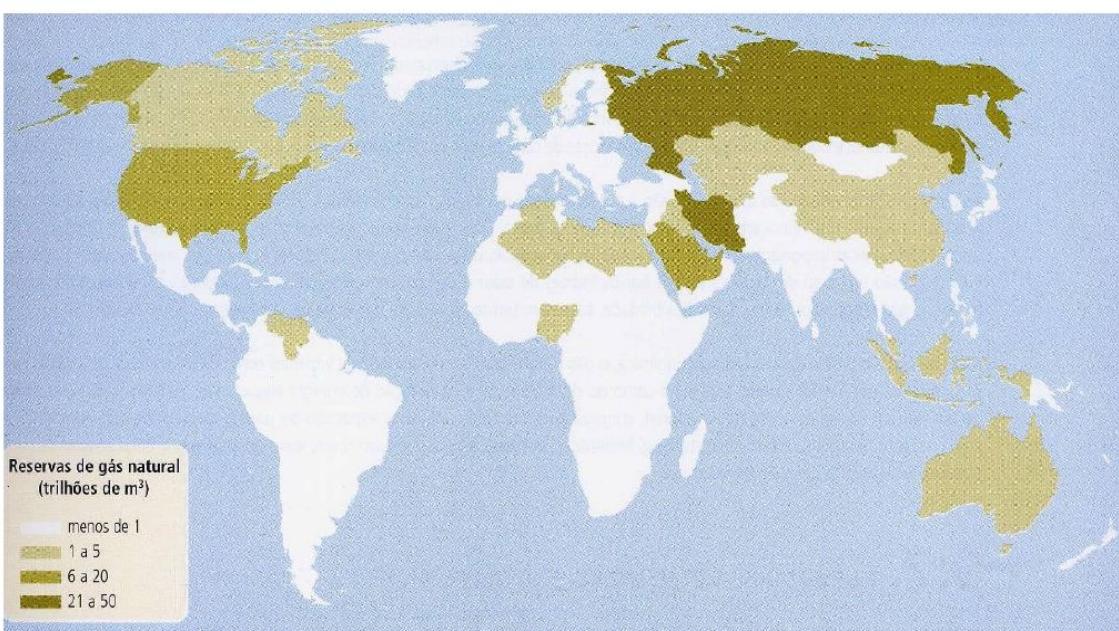
(Fonte ANEEL, 2005 apud Shayani, 2006)

Figura 5 - Reservas mundiais de carvão mineral no mundo em 2002 (milhões ton.)



(Fonte ANEEL, 2005 apud Shayani, 2006)

Figura 6 - Reservas mundiais de gás natural no mundo em 2002 (trilhões de m³)



(Fonte ANEEL, 2005 apud Shayani, 2006)

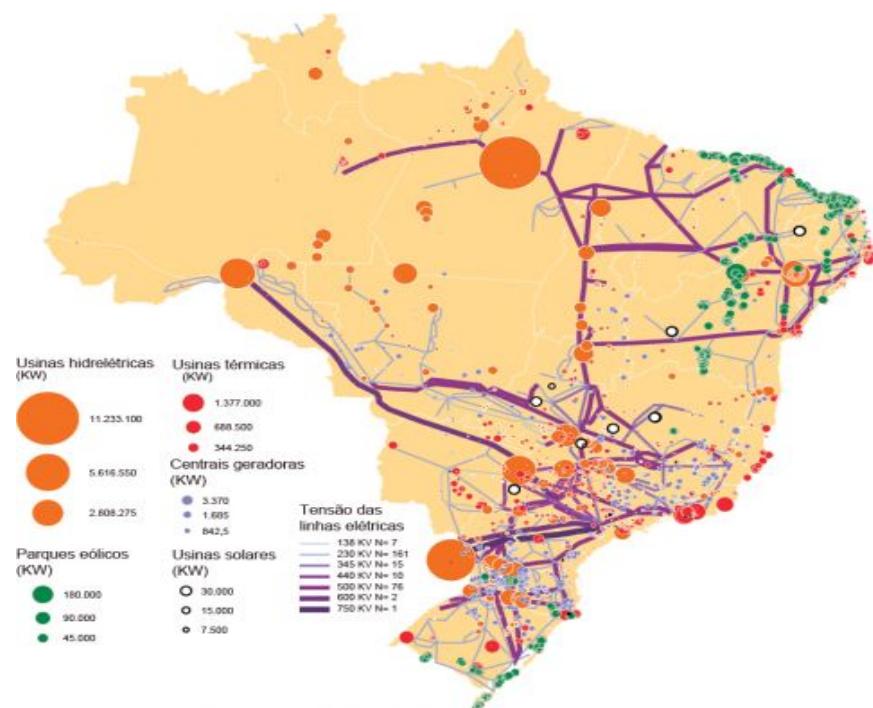
5.5 Brasil

Figura 7 - Localização de usinas de geração energia elétrica no Brasil



(Fonte: ANEEL)

Figura 8 - Usinas de geração energia elétrica no Brasil por potencial



(Fonte: ANEEL)

6. FORMAS DE GERAÇÃO

Com o avanço contínuo da tecnologia, a ciência descobriu novas formas de capturar a energia de diversas fontes do planeta e construiu suas matrizes energéticas de forma bem heterogênea.

Para análise foram escolhidas as formas de geração conforme ilustração abaixo, levando em consideração sua relevância no cenário global. Entende-se como renováveis, as formas de produção do presente que não comprometam as necessidades das próximas gerações, tanto do ponto de vista energético, quanto ambiental.

Figura 9 - Formas de geração de energias renováveis selecionadas



(Fonte: Autores)

6.1 Biomassa

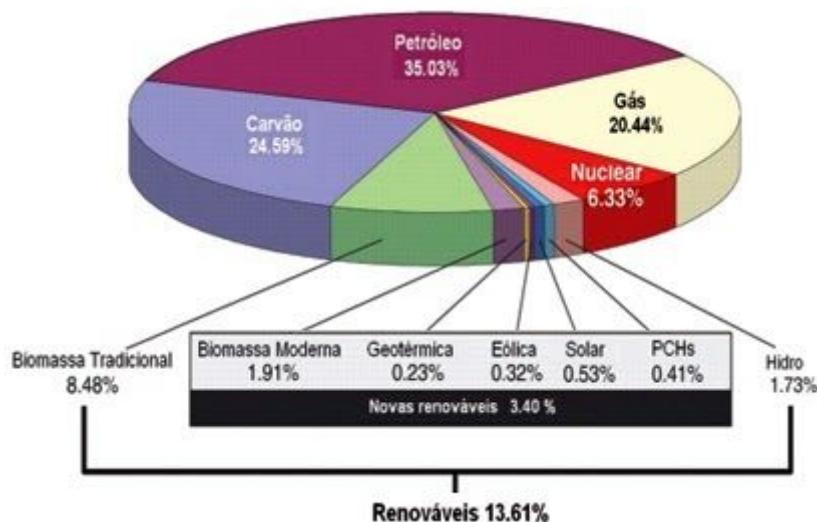
O que é?

Biomassa é o nome que se dá a matéria orgânica destinada à geração de energia. Ela se difere dos combustíveis fósseis por não precisar de milhares de anos para se formar, ou seja, é renovável. Alguns exemplos comuns de biomassa são: lenha, carvão vegetal, serragem, embalagens usadas de papelão, galhos e folhas, cana-de-açúcar e todos os derivados como bio óleo, bio gás e bio álcoois.

Histórico

Até o começo do século XIX quase toda demanda energética do homem era sanada pela queima da biomassa, o restante se dividia entre força animal, nos engenhos, e no vento para os barcos. Com a revolução industrial, o carvão vegetal assumiu um papel ainda mais importante, impulsionando as máquinas à vapor. Já no século XX, os combustíveis fósseis, como petróleo e carvão mineral, tomaram a dianteira como maior produtores de energia.

Figura 10 : [Suprimento total de energia primária mundial 2004](#)



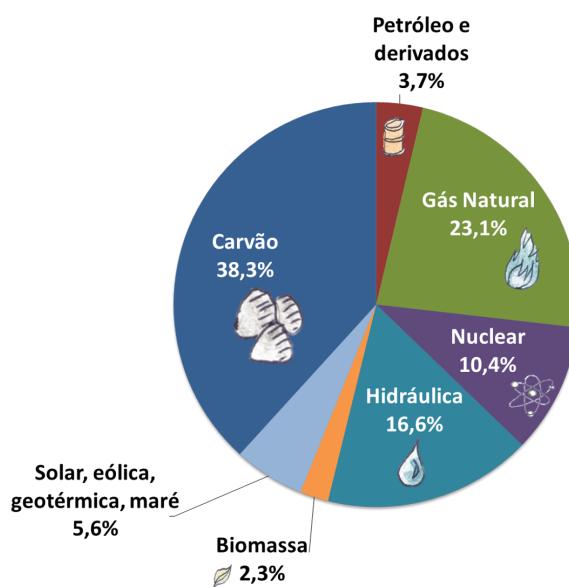
Fonte:(https://science.sciencemag.org/content/315/5813/808?casa_token=KINLeYfYUmcAAGAA:qHboYxmB-tcNJxADhHCl16cdlUesLVwgeHZ7CB2Nea0nyhbUqLSzeqRXoEpUAsKMWS eAgpCAx8Gfrg)

No começo do século XX, temos o cenário da Figura 1 onde 13.61% do suprimento energético global vêm dos renováveis, sendo 8.48% proveniente da

biomassa tradicional, não sustentável, onde se cortam árvores para aquecer as casas e cozinhar. Essa prática está associada ao desmatamento e à regiões em desenvolvimento como a camada mais pobre da América Latina, África e Ásia [fonte].

O uso moderno da biomassa, por sua vez, consiste em: extração de bioálcool, como o etanol da cana-de-açúcar; extração de gases de aterros sanitários; geração de eletricidade; cogeração a partir de bagaços e extração de carvão vegetal proveniente de [florestas energéticas](#).

Figura 11: [Matriz Elétrica Mundial em 2016](#)



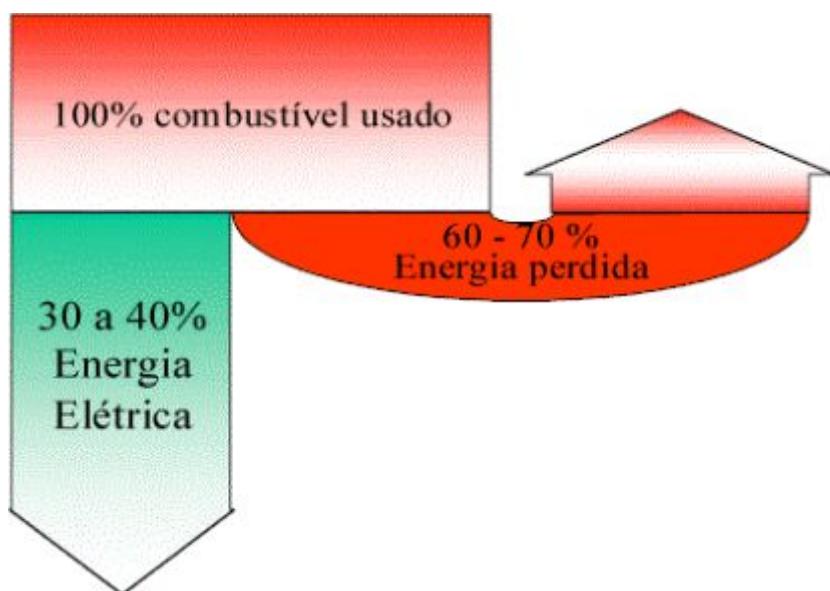
(Fonte: <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>)

No começo do século XXI estamos vendo uma diminuição brusca no uso do petróleo; a biomassa moderna, bem como as outras novas renováveis, tiveram crescimento expressivo e tudo indica que o mundo caminha, mesmo que com velocidade discutível, para um aproveitamento energético dos recursos naturais que seja mais eficiente e que tenha menos impactos ambientais.

Cogeração

A transformação da biomassa em energia elétrica se dá por meio da combustão dentro de geradores ou motores termoelétricos, porém, a eficiência da relação matéria orgânica por eletricidade é muito baixa. Com o aquecimento da matéria orgânica, mesmo com o melhor gerador, só é possível converter de 30% à 40% da energia em eletricidade, os outros 70%-60% são dissipados como calor.

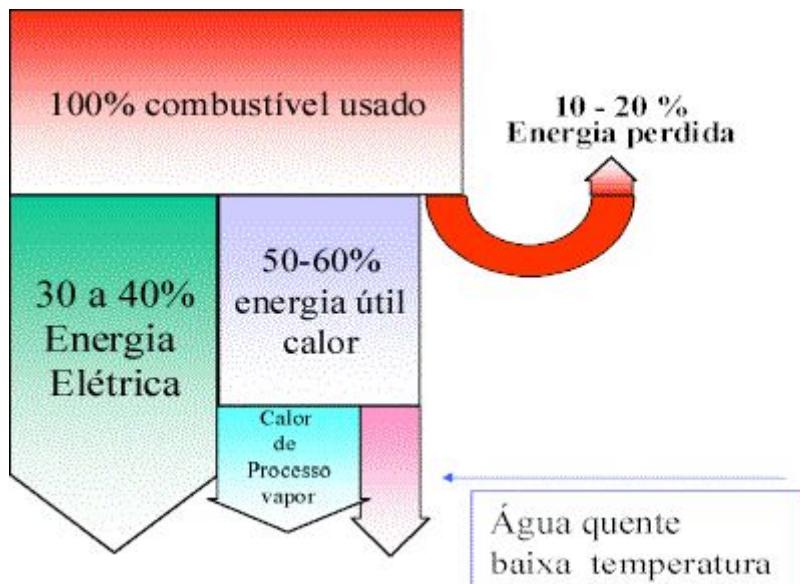
Figura 12: [Fluxograma de energia biomassa sem cogeração](#)



(Fonte: http://www.inee.org.br/forum_co_geracao.asp?Cat=gd)

É por este motivo que desenvolveu-se o método de co-geração, onde a energia do calor também é aproveitada gerando vapor e diminuindo a energia perdida :

Figura 13: [Fluxograma de energia biomassa com cogeração](#)

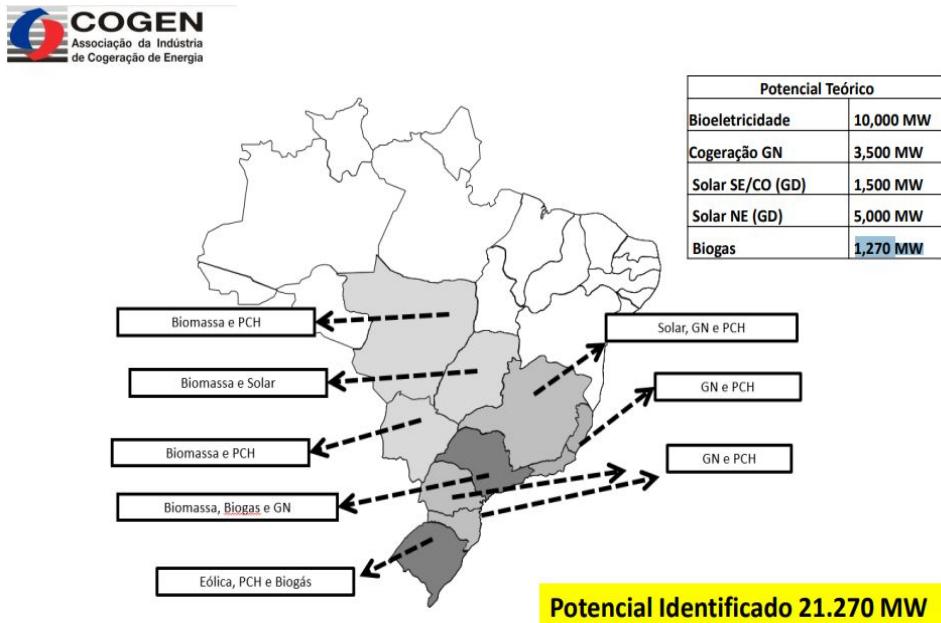


(Fonte: http://www.inee.org.br/forum_co_geracao.asp?Cat=gd)

Este método é eficiente, de baixo custo e requer que haja combustível de fácil acesso. É utilizado pelas indústrias de biogás, de etanol (com o bagaço da cana, por exemplo), de adubo e qualquer outra indústria com resíduo inflamável.

Segundo a [COGEN](#) (Associação da indústria de cogeração de energia) dentro das regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul do país existe um potencial energético teórico de 21.270MW onde 69% deste potencial corresponde à bioeletricidade, biogás e cogeração de gás natural(GN), o restante pertencendo a energia solar:

Figura 14: Potencial Teórico brasileiro



(Fonte:
http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/workshop/2015/Apresentacao_COGEN_Abimaq.pdf)

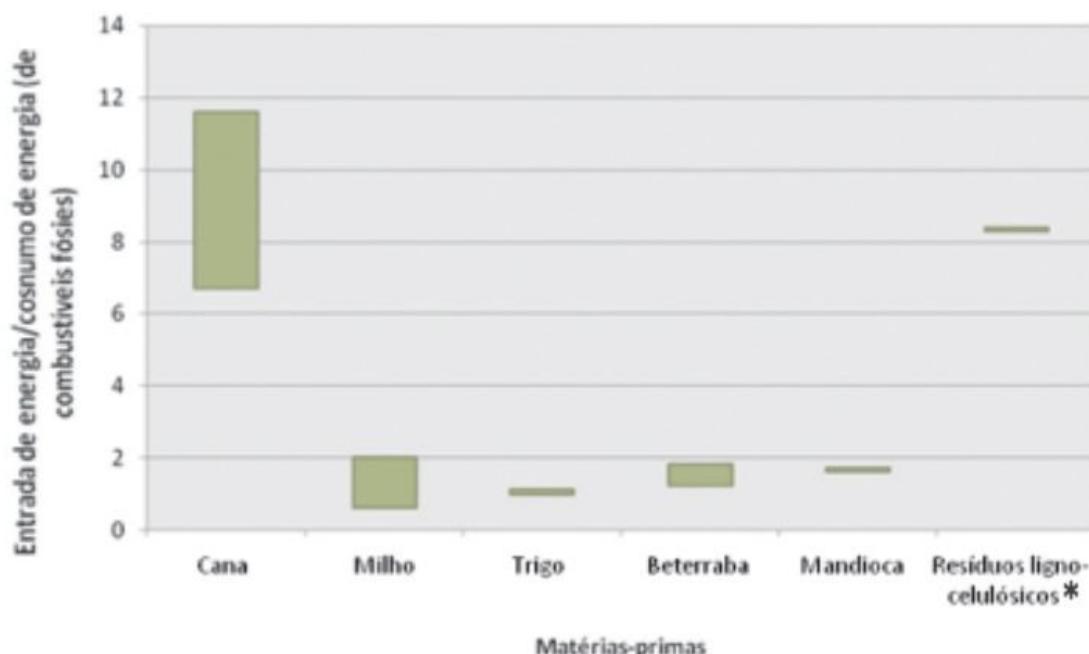
Gaseificação

Outro método de extração de energia a partir da biomassa é a gaseificação, onde o combustível orgânico (madeira, bagaço de cana, serragem, resíduos líquidos...) é transformado em uma mistura inflamável chamada de **gás síntese**. Conforme o [IPT](#), é simplesmente “queimar o bagaço e a palha com pouco oxigênio, de forma autotérmica de maneira a obter um gás contendo principalmente CO + H₂”. Esse gás é energético por si só, mas também pode ser usado na [fabricação de plásticos](#).

Biocombustível

Aqui no Brasil o biocombustível de maior sucesso é o etanol de cana-de-açúcar, devido claro à história do país e aos incentivos fiscais, mas principalmente por ter o [balanço energético positivo](#), como mostra a Figura.

Figura 15 - Balanço energético do etanol produzido a partir de diferentes matérias-primas



Balanço energético do etanol produzido a partir de diferentes matérias-primas

(Fonte:https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.ipt.br%2Fdownload.php%3Ffilename%3D703-Biomassa_para_producao_de_energia__Colloquium_SAEBrasil_Energia_Verde.pdf&psig=AOvVaw0Tl0rPrV6N8RjldjikpYGI&ust=1588275138)

Além do etanol, para carros no geral, também temos o biodiesel, para veículos maiores. Sua produção vem principalmente de óleos vegetais e gorduras e, assim como o etanol, é uma alternativa mais ecológica e com menos gases poluentes que os combustíveis tradicionais.

Biogás

A forma com que nos livramos do resíduo sólido urbano é muito importante, principalmente tendo em mente que a decomposição da matéria orgânica libera gases estufa que, não só contribuem para o efeito estufa, mas também podem ser aproveitados energeticamente. Conforme o Ministério do Meio Ambiente ([MMA](#)): "os gases presentes nos aterros de resíduos incluem o metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), amônia (NH₃), hidrogênio (H₂), gás sulfídrico (H₂S), nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂)" e a grande maioria desses gases podem ser aproveitados de alguma maneira, seja gerando energia elétrica, aquecendo caldeiras ou alimentando gasodutos.

Biomassa como energia elétrica

Tendo em mente que a geração de energia por biomassa pode-se dar através de uma variedade de bagaços, e também pode ser obtida com uma variedade de processos, o trabalho terá seu foco em analisar os custos e benefícios de apenas dois deles: Cogeração de bagaço de cana-de-açúcar e Biogás de Aterro Sanitário. Essa limitação do escopo de pesquisa é necessária devido ao curto espaço de tempo em que este trabalho teve que ser concluído e a escolha foi feita com base nos métodos que são capazes de gerar mais energia.

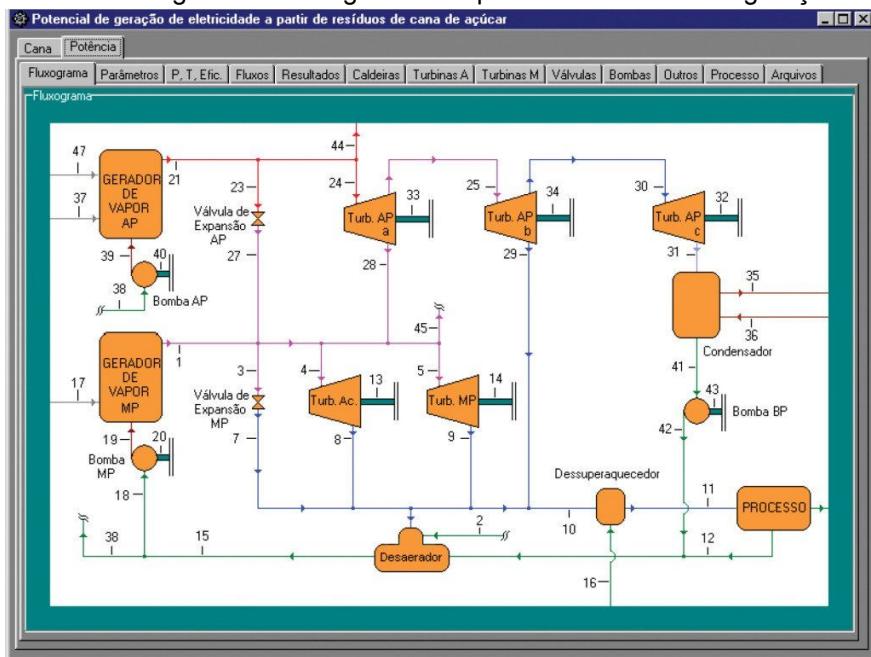
Cogeração de bagaço de cana-de-açúcar

Como explicado anteriormente, a cogeração é o processo pelo qual é possível aproveitar ao máximo a energia térmica proveniente da queima. Atualmente no Brasil, diversas destilarias estão optando por [investir](#) em pequenas usinas de cogeração de modo a se tornarem autônomas, ou até vender energia excedente.

O bagaço da cana é queimado produzindo vapor que, por sua vez, supre todas as demandas de calor, energia mecânica e eletricidade das destilarias. Consumindo este vapor para, ou operar maquinário a vapor, ou gerando eletricidade, a demanda por combustível também é diminuída. Usinas de

cogeração modernas também conseguem aumentar a pressão com a qual esse vapor é obtido ([120 bar e 530°C](#)), através do emprego de múltiplas turbinas e condensadores, o que aumenta a eficiência do processo bem como o excedente energético.

Figura 16: Fluxograma completo do sistema de cogeração



Fonte:<https://www.novacana.com/usina/cogeracao-como-funciona-producao-energia-eletrica>

Entrando agora na parte física da geração de energia elétrica, temos a seguinte função:

$$P = C/(B \cdot n) \quad [\text{MWh}]$$

P - Potencial energético

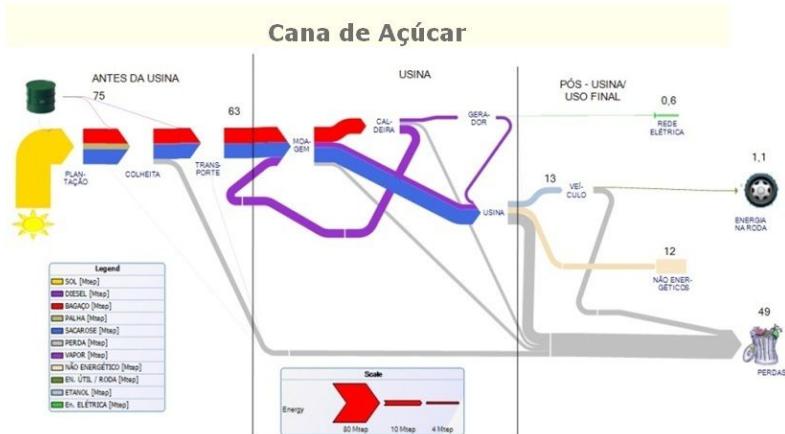
C - Produto agrícola (no caso, cana)

B - Quantidade de bagaço por moagem

n - Taxa de conversão de energia

Independente da finalidade, a moagem de 1 tonelada de cana gera aproximadamente 250 kg de bagaço. Para a geração de 1 MWh de energia são necessárias 6,5 toneladas de bagaço ([fonte](#)).

Figura 17: Esquematização cogeração bagaço de cana



Fonte

(<https://www.biomassabioenergia.com.br/imprensa/biomassa-da-cana-de-acucar-tem-potencial-para-se-tornar-a-principal-fonte-de/20161003-112254-o741>)

Segundo a COGEN (Associação da Indústria de Cogeração de Energia), a energia gerada através da queima de biomassa de cana de açúcar poderia abastecer metade de São Paulo, tendo capacidade instalada de 10,8GW. A União da Indústria de Cana-de-açúcar estima ainda que o Brasil tenha potencial para implementar mais 20 GW só com as plantações já existentes ([fonte](#)).

Para falar dos custos, tomaremos como base um [artigo](#) da USP que faz uma análise de caso de quatro usinas em São Paulo. Os pesquisadores acompanharam o processo de quatro usinas e determinaram seus gastos. Na análise também esclarecem que a geração de energia nessas usinas não deve ser enxergada como um subproduto, mas sim como uma terceira via de negócios, para além do açúcar e o álcool. A tabela a seguir foi elaborada no artigo mencionado e representa o capital necessário para implantação de uma usina de cogeração e uma relação de reais por MW instalado.

Tabela 1: Investimento e energia gerada (biomassa)

Usinas	Investimento	Energia Gerada	Custos
	(R\$)	MWh	R\$/MWh
Santa Isabel	118.500.000,00	455.040	260,42
Cerradinho	103.000.000,00	378.000	272,49
Catanduva	12.000.000,00	69.120	173,61
Santa Cândida	25.000.000,00	167.040	149,66

Estas usinas também consomem uma parcela significativa da energia que produzem, o que não gera receita mas substitui a demanda por energia que seria comprada de terceiros. A tabela a seguir representa o custo anual evitado por estas usinas.

Tabela 2: Preço energia e consumo (biomassa)

Usina	Preço energia ¹⁷ (R\$/MWh)	MWh – Consumo ¹⁸	Custo evitado R\$
Cerradinho	147,00	70.560	10.372.320,00
Santa Isabel	120,00	97.920	11.750.400,00
Santa Cândida	132,63	46.080	6.111.590,40
Catanduva	120,00	57.600	6.912.000,00

Ainda no talão de contas, temos que considerar o custo de Operação e Manutenção dessas usinas (O&M) que será quantificado na tabela abaixo.

Tabela 3: Geração energia e custo (biomassa)

Usina	Qde. de MWh gerado	Custo O&M R\$/MWh ¹⁹	Custo total com O&M (R\$)
Cerradinho	378.000	25,00	9.450.000,00
Santa Isabel	224.640	10,50	2.358.720,00
Santa Cândida	120.960	12,00	1.451.520,00
Catanduva	69.120	35,70	2.467.584,00

Com o objetivo de obter um só número comparativo que cumpra com a finalidade deste trabalho, foi calculada a média dos valores das diferentes usinas e a seguinte tabela foi montada:

Tabela 4: Preço de venda e custo evitado (biomassa)

Preço de venda de excedente R\$/MWh	Custo O&M R\$/MWh	Investimento R\$/MWh	Custo Evitado R\$
129,75	20,8	214,045	8.786.577,6

Biogás de Aterro Sanitário

Como os aterros já foram abordados anteriormente, pulamos direto para a parte física:

$$P_{dis} = Q_{biogás} \cdot (\%CH_4) \cdot PC_{CH_4} \cdot \eta$$

Pdis - Potência disponível

Qbiogás - Quantidade de biogás

%CH4 - metanagem deste gás

PCch4 - poder calorífico do biogás (35MJ/m³ ch4)

n - rendimento da tecnologia atual de conversão

Com base nesta fórmula, foi elaborada uma tabela comparativa com diferentes valores de rendimento e diferentes valores de metanagem:

Rendimento / Porcentagem de Metano

Tabela 5: Rendimento e %metano (biogás)

	5%	10%	15%	20%	30%	40%	50%	60%
0,01	0,1	0,19	0,29	0,39	0,58	0,78	0,97	1,17
0,05	0,49	0,97	1,46	1,94	2,92	3,89	4,86	5,83
0,10	0,97	1,94	2,92	3,89	5,83	7,78	9,72	11,67
0,15	1,46	2,92	4,38	5,83	8,75	11,67	14,58	17,5
0,20	1,94	3,89	5,83	7,78	11,67	15,56	19,44	23,33
0,25	2,92	5,83	8,75	11,67	17,5	23,33	29,17	35
0,5	3,89	7,78	11,67	15,56	23,33	31,11	38,89	46,67
0,75	4,86	9,72	14,58	19,44	29,17	38,89	48,61	58,33
1	5,83	11,67	17,5	23,33	35	46,67	58,33	70

Supondo uma Vazão anual de 200,000 m³ ~//~ Resultado em MWh

Podemos notar que a taxa de aumento na vertical é muito mais significativa que na horizontal, o que apresenta a importância da tecnologia empregada na geração desta energia. Como foi discutido anteriormente no tópico Biomassa, os gases de aterro possuem normalmente 60% de metano.

Para continuar com o comparativo, toma-se como base o estudo da UERJ [BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL E LIMPA - UM ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA](#). Neste artigo, os pesquisadores estudam o aterro sanitário de Gramacho no Rio de Janeiro com o viés de analisar a viabilidade econômica e técnica desta prática energética. As tabelas a seguir são citações diretas deste artigo.

Tabela 6: Geração anual (biogás)

Ano	Pressupostos
1	Sistema de coleta de gás e de queima em construção
2	Início do Sistema de Coleta e de queima. Usina em construção.
3	Início do funcionamento da usina de energia; Sistema a operar à capacidade de 10 MW.
4 ao 8	Sistema com capacidade de 10 MW
9 e 10	Sistema com capacidade de 7,2 MW
11 ao 15	Sistema com capacidade de 4,3 MW

Como mostra a tabela, uma das limitações do sistema de extração de biogás de aterros sanitários é o tempo. Como uma regra geral, é estimado que a geração de energia comece somente após 3 anos, devido tanto ao processo de instalação de equipamentos de coleta de gás, bem como para esperar a produção do gás pelos resíduos orgânicos. Também estima-se que a vida útil de tal sistema seja de aproximadamente 15 anos.

Tabela 7: Recuperação do biogás e capacidade máxima (biogás)

Ano	Recuperação de Biogás Previsto (m ³ /hr)	Capacidade Máxima da Usina de Energia (MW)
2012	16.383	27,1
2013	13.981	23,1
2014	11.931	19,7
2015	10.182	16,8
2016	8.690	14,4
2017	7.416	12,3
2018	6.329	10,5
2019	5.401	8,9
2020	4.609	7,6
2021	3.934	6,5
2022	3.357	5,6
2023	2.865	4,7
2024	2.445	4,0

Nesta outra tabela temos acesso à taxa de recuperação de biogás e capacidade máxima de geração de energia da usina esperadas durante a vida útil do projeto, dando destaque a quantidade cada vez menor de ambas as variáveis durante este período de tempo.

Tabela 8: Itens e custos (biogás)

Item	Custo Total Estimado (\$) ⁽¹⁾
Usina de energia de 10 MW abastecida com bio ⁽²⁾	\$8.025.000
Interconexão de 3 km	\$500.000
Construção da usina/trabalho no local (incluindo tubulação)	\$174.000
Medição do biogás e equipamento de registro	\$50.000
Engenharia/Contingências (10% de outros custos)	\$875.000
Custo Total Estimado	\$9.624.000

Tabela 9: Itens e custos (2) (biogás)

Item	Custo Total Estimado (US\$)
Mobilização e Gestão do Projeto	\$50.000
Tubulação principal de coleta de gás	\$2.250.250
Tubulação lateral	\$173.200
Passarelas	\$47.300
Gestão do Condensado	\$27.300
Poços de Drenagem Vertical	\$323.000
Coletores Horizontais	\$971.830
Equipamento de Ventilação e Queima (queimador)	\$1.400.000
Engenharia, Contingência, e Custos Iniciais de Transação do MDL	\$558.000
Custo Total Estimado	\$5.890.880

Entrando agora na parte dos custos iniciais, temos, em ordem, as tabelas do investimento necessário para se instalar uma Usina Termoelétrica(UTE) e o Sistema de Coleta e Queima do Biogás. Quanto à manutenção e operação, o próprio artigo cita “*Os custos orçamentários anuais estimados da operação e manutenção da UTE são de aproximadamente 1,8 centavos de dólar por kilowatt-hora (kWh) de saída de eletricidade (estimados em 73,55 milhões de kWh), ou cerca de US\$ 1.323.900,00 [8], incluindo mão-de-obra, testes, manutenção de rotina e reparações*”.

Para cumprir com os requisitos comparativos deste trabalho, foi feita uma soma do quanto de energia seria gerada partir dos potenciais energéticos de cada um dos anos dentre os 15 de funcionamento. A partir daí, todos os custos citados foram usados para gerar a seguinte tabela comparativa, corrigindo os valores em dólar para a cotação atual (5,36 07/07/2020). O preço de venda foi tirado de um [Leilão](#) energético.

Tabela 10: Preço venda e investimento (biogás)

Preço de venda de excedente R\$/MWh	Custo O&M R\$/MWh	Investimento R\$/MWh
251,55	9,04	210,94

6.2 Eólica

Quando se fala em métodos de geração de energia que oferecem menor agressão ao meio ambiente, uma das primeiras opções relacionadas é a energia eólica, que consiste na captação da energia cinética resultante do movimento dos ventos que excedem 6m/s de velocidade, através dos aerogeradores, convertendo para energia mecânica e posteriormente para eletricidade por meio de um gerador ligado por um eixo à turbina, que gera corrente alternada através de indução eletromagnética.

O modelo mais utilizado no mundo é o aerogerador em forma de cata-vento, com rotores de três pás, que oferece maior estabilidade e evita maior comprometimento da estrutura do equipamento. Esse modelo é composto das pás, ou hélices, que giram com o movimento das massas de ar, girando o rotor, que leva a uma caixa de engrenagem que transmite as rotações mais lentas de forma que essas estejam adequadas à velocidade necessária de rotação para alimentar o funcionamento do gerador, além de sistemas que orientam tanto sobre a direção quanto velocidade do vento. A eletricidade produzida pelo gerador é transmitida até a base da torre onde passa para um transformador e é enviada aos sistemas de transmissão e distribuição.

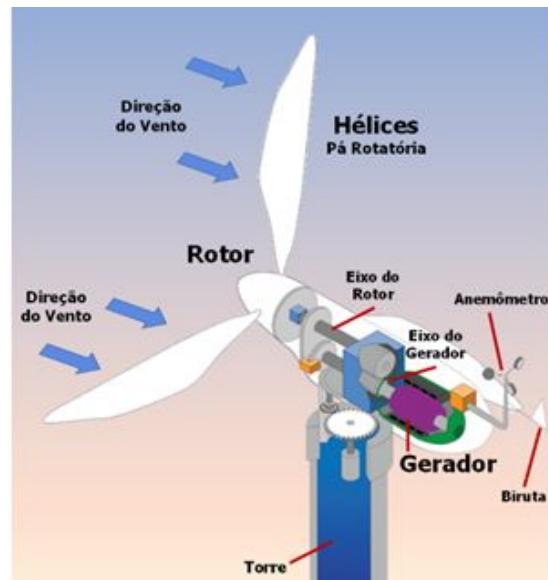
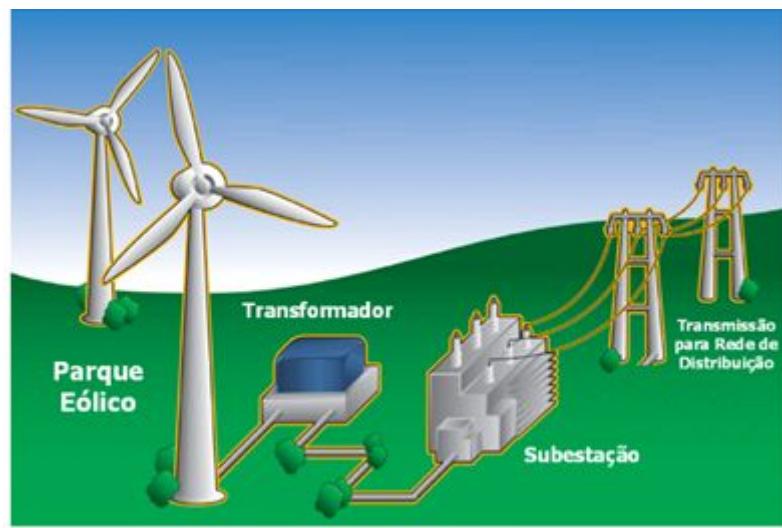


Figura 18: Esquematização Energia Eólica

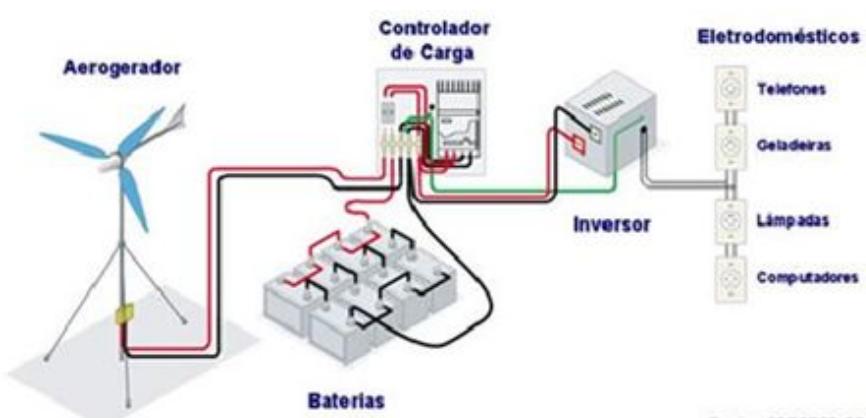


Fonte: Wartsila e Petrobras

Instalação e distribuição

Os aerogeradores podem ser instalados de forma agrupada, para fins comerciais e de grande produção normalmente ligados diretamente à rede de energia, ou então individualmente, para atender necessidades de pequenas propriedades ou residências, geralmente possuindo um sistema de armazenamento de energia por não ser integrado à rede elétrica, como representado na imagem abaixo.

Figura 19: Aero gerador



Fonte: CRESESB, 2005

Podem ser instalados em terra firme ou então sobre águas rasas, com menos de 50 metros de profundidade, conhecidos como parques eólicos offshore, estes têm custos de transmissão e distribuição um pouco mais elevados em

razão de uma maior distância em relação às redes de eletricidade, porém maior desempenho de produção de energia, devido a maior ocorrência de ventos nas regiões costeiras e marítimas. Um parque eólico de médio porte leva em média 18 meses para ser construído e estar em condições de iniciar atividades.



Desempenho de produção

A produção de energia a partir do aerogeradores dependem de diversos fatores, os principais são a ocorrência e a velocidade do vento, a potência do equipamento e a altura em que o equipamento está instalado. Para calcular a potência mecânica extraída do vento se descreve por meio das duas equações:

$$P_{mec} = \frac{1}{2} \rho A v_w^3 c_p(\lambda, \beta)$$

$$\lambda = \left(\frac{R \omega_{wt}}{v_w} \right)$$

Onde:

- c_p – coeficiente de potência do aerogerador
- λ – razão entre a velocidade tangencial da ponta da pá e a velocidade do vento incidente (*tip speed ratio*)
- ω_{wt} – velocidade angular da aerogerador [rad/s]

- R – raio da aerogerador [m]
- ρ – densidade do ar [Kg/m³]
- A – área varrida pelo rotor da aerogerador [m²]
- v_w – velocidade do vento incidente na aerogerador [m/s]

Em questões de geração e fornecimento de energia, os parques eólicos já compunham 9% da matriz energética brasileira em 2018, um crescimento de 0,9% em relação a 2017 segundo a ABEEOLICA, com 14,71 GW de potência eólica instalada distribuídos em 583 parques eólicos e mais de 7 mil aerogeradores ao redor do Brasil. A produção anual foi de 48,42 TWh ao longo do ano de 2018, segundo o Boletim Anual de Geração Eólica, evitando a emissão de 20,58 milhões de toneladas de CO₂ e atendendo em média 25,5 milhões de residências e 76,6 milhões de habitantes, onde 70% está situada na região Nordeste, onde essa fonte de energia mais se destaca.



Custos de instalação e manutenção

Um parque eólico de médio ou grande porte, acima de 30MW instalados, demanda um valor médio de R\$ 4,2 milhões por MW de potência instalada de investimento inicial para construção e instalação, segundo a fabricante Wobben. Valor que inclui os aerogeradores e a infraestrutura civil e elétrica, podendo variar de acordo com as particularidades de cada empreendimento.

Também de acordo com a fabricante Wobben, o custo médio de manutenção e mão-de-obra nos parques eólicos é de 2% do valor do investimento inicial ao ano, totalizando R\$ 84 mil por MW instalado, o que torna uma opção mais econômica em relação a Itaipu Binacional, que tem um custo de manutenção anual de aproximadamente US\$ 140 mil por MW instalado, além de provar a energia eólica competitiva em relação a implementação de uma usina hidrelétrica também por ter um tempo de instalação reduzido.

6.3 Maremotriz

“Alternativas renováveis e de menor impacto ambiental como energia eólica, solar e fontes de energia oriundas dos mares se mostram boas possibilidades por não se esgotarem e nem produzirem resíduos ou emissões ao ambiente. Um comprovado potencial energético está nos oceanos, estimado em cerca de 3 TW, porém sendo apenas de 2% a 10% aproveitáveis devido a dispersão dessa energia em mar aberto e a alturas de marés modestas para exploração.” (CHARLIER, 2003) Oscilações de marés, correntes marítimas e ondas são recursos renováveis cuja tecnologia empregada para o aproveitamento dessas fontes de eletricidade está em constante avanço. Sendo o Brasil um dos países com maior faixa litorânea do mundo é surpreendente a baixíssima utilização dessa alternativa.

Pretende-se neste capítulo fazer uma análise de cada uma das possibilidades de energia maremotriz, das formas de implementação e tecnologias empregadas, vantagens/desvantagens, custo/benefício, custo de instalação, custo de manutenção e volume de energia gerado, podendo assim avaliar oportunidades de desenvolvimento dessa forma de geração de energia no Brasil, visto que a Agência Internacional de Energia acredita que este tipo de fonte de energia deverá ter considerável representatividade no mix da matriz energética mundial até 2030 e comparar cada uma dessas variáveis com a energia hidrelétrica, pois esta é a mais predominante em todo território brasileiro.

Vantagens e desvantagens

Como todo tipo de energia existem vantagens e desvantagens. As vantagens da utilização da energia das ondas são:

- Energia renovável.
- Apresentar riscos mínimos ao meio ambiente.
- Possuir grande volume de água do mar, praticamente inesgotável, para geração de energia.

- Uma vantagem em relação a energia hidrelétrica é que a energia das marés não depende do clima.

Existem também as desvantagens da energia das ondas, que também devem ser consideradas:

- Altos custos de instalação dos equipamentos.
- As instalações devem ser fortes e sólidas o suficiente para resistirem às tempestades, ao mesmo tempo em que devem ser sensíveis o bastante para captação da energia das marés.
- Uma desvantagem é que apesar de ser uma fonte de energia limpa e renovável, a construção de usina maremotriz é um empreendimento caro e que apresenta um nível de geração de energia elétrica baixo em comparação com as usinas hidrelétricas.

Custo/Benefício e custo de instalação

Para analisar custo benefício será comparada a construção da usina maremotriz do Bacanga-MA com a usina hidrelétrica de Itaipu:

Tabela 11: Maremotriz x Hidrelétrica (maremotriz)

	Maremotriz do Bacanga	Hidrelétrica de Itaipu
Geração estimada/ano:	30,466 MWh	91 milhões de MWh
Custo de construção:	4 milhões USD	19 bilhões USD

Analizando a tabela, é possível perceber que o potencial energético da usina do Bacanga é muito menor se comparado ao de Itaipu, entretanto, seu custo de

construção, sem levar em conta a vida útil das usinas nem o custo de manutenção é absurdamente menor. A maremotriz é útil para abastecer com energia limpa e renovável áreas menos aglomeradas, empresariais e industriais. É recomendada para gerar apenas energia residencial, em contrapartida, Itaipu, como maior usina usina energética do País, comporta o abastecimento de diversas regiões urbanas do Brasil e outros países, como o Paraguai.

Custo de manutenção

Tabela 12: Custo de manutenção (maremotriz)

Maremotriz do Bacanga	Hidrelétrica de Itaipu
Custo de O&M/ano: R\$ 2 milhões	Custo de O&M/ano: US\$ 716,1 milhões

*Custo de O&M = Custo de Operação de Manutenção

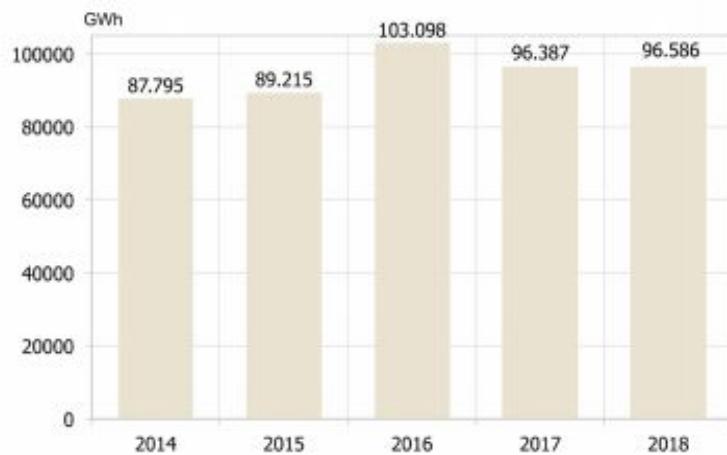
Volume de energia gerado

Conforme Planeta COPPE – UFRJ, a energia contida nas ondas do mar é atualmente estimada em cerca de 10 Terawatts, equivalente a todo o consumo de eletricidade do planeta. Considerando as restrições existentes no uso de grandes áreas dos oceanos, devido às rotas de navegação, regiões turísticas e de lazer, assim como pelos decréscimos associados ao rendimento dos conversores, considera-se como realista um aproveitamento da ordem de 10%,

o que representa uma possibilidade de incremento de cerca de 1000 Gigawatts na matriz energética mundial.

A produção da Usina Hidrelétrica de ITAIPU atingiu 96.586 GWh em 2018, correspondente a 11.026 MW médios, o quarto melhor ano de produção da Usina. Essa produção corresponde a 93,7% da produção de 2016, ano com o maior valor anual de geração já registrado. Em 34 anos de geração, desde 05 maio de 1984 até 31 dezembro de 2018, a produção acumulada de energia da ITAIPU atingiu 2.608.763 GWh. As produções anuais dos últimos cinco anos e as mensais de 2018, com valores arredondados, são indicadas a seguir:

Figura 20: Produção anual de energia em Itaipu (GWh)



Potência Extraível

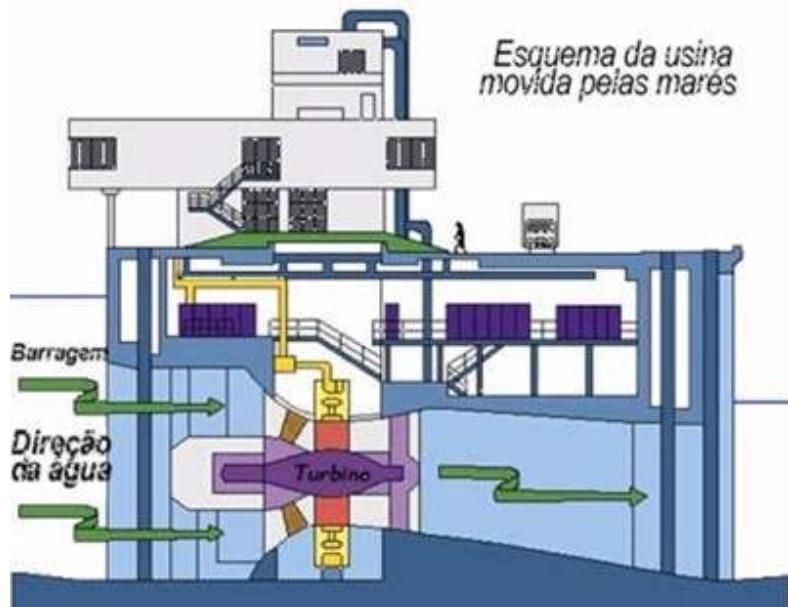
$$P = \eta \cdot g \cdot Q \cdot H$$

- P: potência extraível (kW);
- η : eficiência da conversão hidráulica - elétrica
- ρ : densidade da água do mar (kg/m^3);
- g: aceleração gravitacional (m/s^2);
- H: altura da queda d'água (m);
- Q: vazão turbinada (m^3/s).

Aproveitamento das Marés

- Conversão da energia potencial: barragem para criar um reservatório, havendo desnível entre estuário e reservatório;
- Conversão da energia cinética das correntes de maré.

Figura 21: Usina Maremotriz



Esquema de uma usina maremotriz que utiliza energia potencial.

Figura 22: Turbina de correntes em Strangford Loch



Irlanda do Norte, Reino Unido.

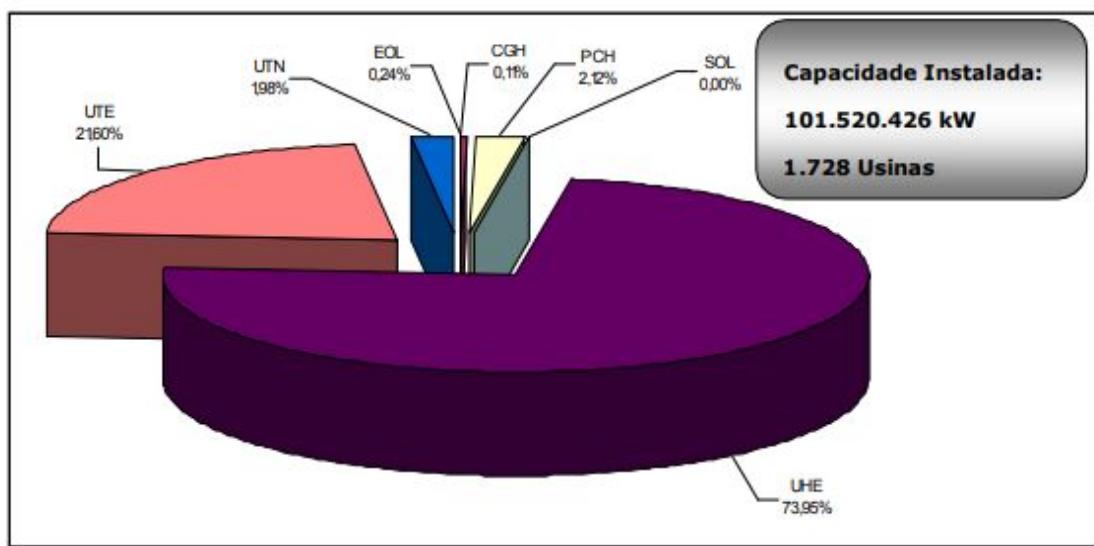
6.4 Hidrelétrica

Conhecida por ser a matriz energética brasileira, a energia hidrelétrica consegue suprir a maior parte do consumo de energia no país e é considerada uma energia renovável.

“a hidreletricidade é a base do suprimento energético do Brasil”
(MÜLLER, 1995)

“o potencial hidrelétrico brasileiro está entre os cinco maiores do mundo. Esta energia desempenha um papel muito importante na integração e desenvolvimento de regiões por todo o brasil.” (WOLNEY, 2014)

Figura 23: BIG



Fonte: ANEEL – Banco de Informações de Geração (BIG)

Definição

A energia hidrelétrica é produzida através da força e velocidade de queda das águas. Necessita de grandes barragens para armazenar a água e assim gerar uma quantidade de potencial cinético suficiente. A partir da queda, através dos tubos, a água converte potencial cinético em velocidade e força, e assim consegue a energia que será aproveitada pela usina para geração de energia elétrica. Todo o processo converge para apenas um ponto: a conversão da energia mecânica (e Hidráulica) em energia elétrica. Para isso, todo o sistema

depende de uma usina e, como dito antes, uma barragem para potencializar a energia adquirida pelas águas.

Além disso, segundo a Brazil Energy Frontiers (2015), o potencial hidrelétrico mundial, plenamente aproveitado, supriria 70% da demanda de energia. Contudo, ele está limitado a poucos países.

“O potencial Hidrelétrico [...] concentra-se em Poucos Países do Mundo, 65% encontra-se em 10 países” (FILHO, Altino Ventura, 2015)

Figura 24: Usina Cemig em Miranda

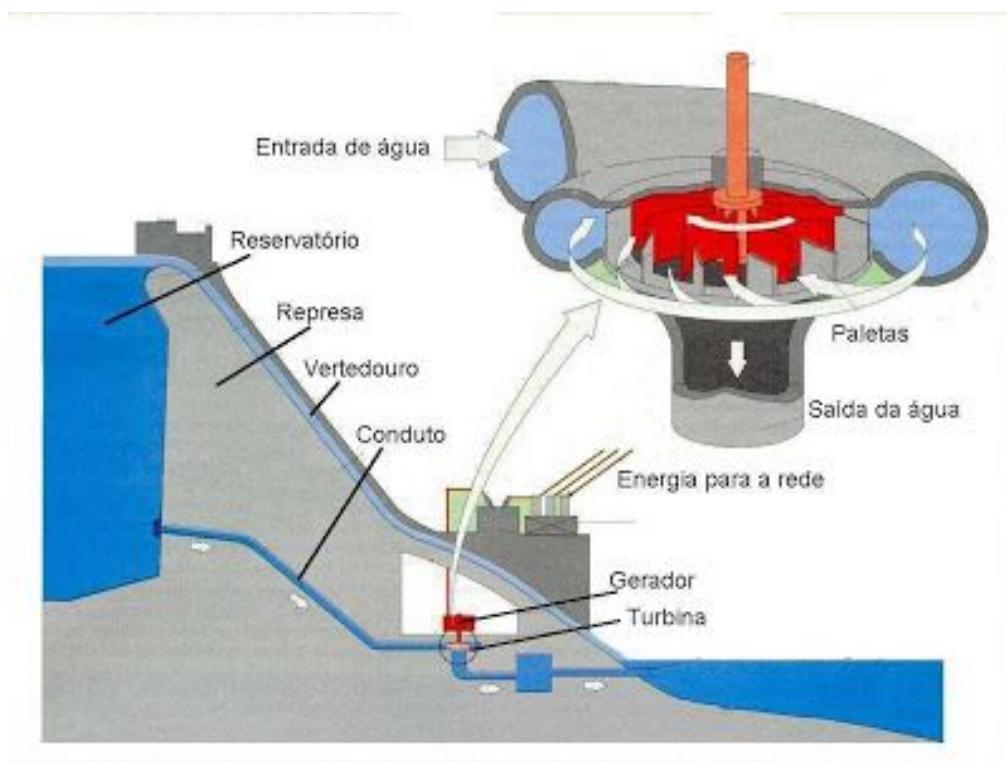


(Fonte:<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-09/aneel-faz-hoje-leilao-de-quatro-hidrelectricas-da-cemig#>)

Modelo de Conversão

Para a conversão da energia mecânica em elétrica, a água desce por tubos, ganhando velocidade e, ao passar pela turbina, gera energia elétrica através de indução eletromagnética. A turbina gira tão rápido que os elétrons presentes nas pás internas da turbina “saltam” energizados ao gerador interno da usina. Dentro dessas especificações, os fatores que potencializam a energia obtida são: a quantidade de água (presente nos reservatórios), a altura da descida (diferença entre o reservatório e a turbina), e o tamanho da turbina/gerador.

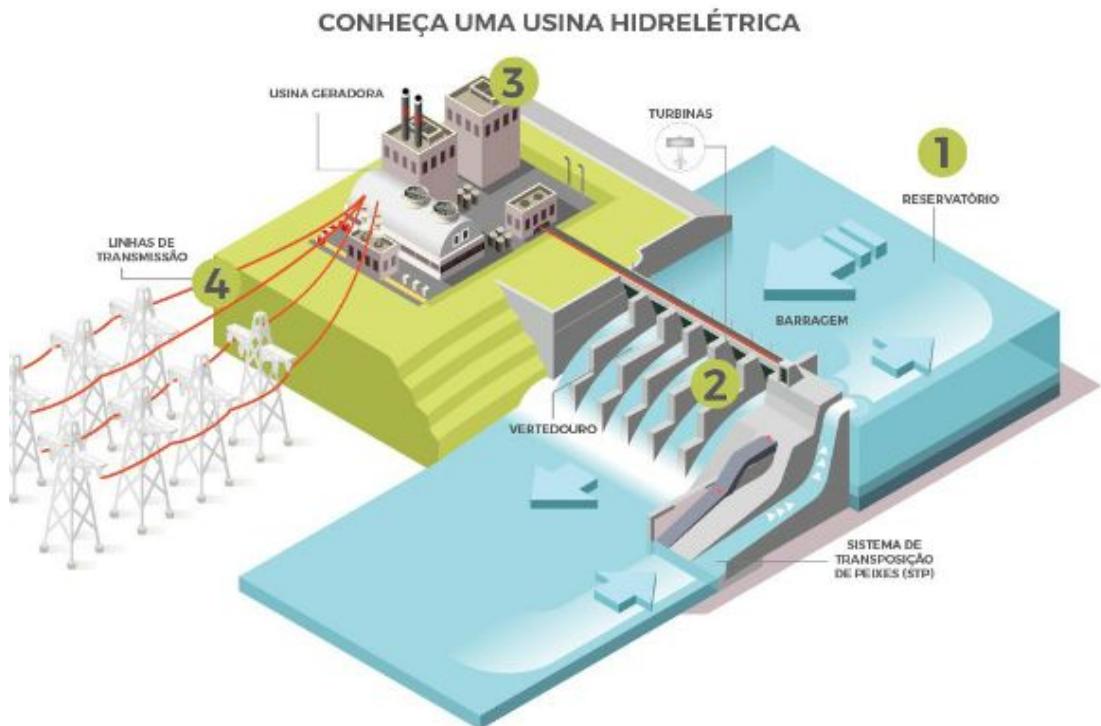
Figura 25: Esquema representativo da conversão na turbina



Modelo de Distribuição

Após a energia no gerador ser produzida, uma pequena estação ao lado da geradora, a usina, recebe toda a energia e converte-a para a voltagem indicada para a distribuição. Essa energia geralmente vai para uma subestação, a qual distribui a energia para a cidade.

Figura 26:Esquema Usina Hidrelétrica



Desempenho

Uma usina hidrelétrica depende exclusivamente de uma bacia hidrográfica favorável, bem como do relevo da região. Uma região de rios de planalto é a mais indicada para a criação de uma usina, pois os fatores de água e altitude são atendidos nesta região. Contudo, é possível criar o relevo a partir da alteração do solo, o que, apesar de mais caro e trabalhoso, permite em regiões de planície (como no norte do país) a existência de grandes usinas.

Sendo assim, para a existência de uma usina hidrelétrica é necessária uma fonte de água, o que limita fortemente seu uso pelo mundo. Contudo, uma usina hidrelétrica tem potencial de geração muito grande e, como podemos observar no Brasil, é uma das fontes de energia que tem uma grande autossustentabilidade.

É uma energia considerada limpa, pois não emite poluentes, e renovável, pois aproveita apenas da força gerada pela água.

Cálculo da Eficiência e Rendimento

A força da água está sujeita a algumas regras e equações, o que permite calcular a média da produção, baseando-se em fatores e médias calculáveis e observáveis.

Potência é a taxa de energia consumida (no caso de um eletrodoméstico) ou gerada (no caso de um sistema gerador). Quanto mais potente um equipamento, mais trabalho ele é capaz de realizar. A unidade kilowatt (kW) será utilizada por ser a mais adequada para geração distribuída.

Energia é o que compramos da distribuidora de “luz”. É o consumo em kWh (kilowatts-hora) que o “relógio” medidor da distribuidora registra continuamente. A energia de 1 kWh equivale à energia consumida por um eletrodoméstico com potência consumo de 1000 W (= 1 kW) ligado durante 1 hora em sua potência nominal.

Para estimar a demanda média de energia mensal de uma unidade consumidora, recomenda-se somar o consumo em kWh das faturas dos últimos 12 meses e dividir o total por 12. Desse modo é possível ter uma amostragem de dados um pouco mais confiável e também nivelar o consumo dos meses do ano com maior e menor demanda. Também é importante considerar se há previsão de mudanças no perfil de consumo futuro.

Para ter potência, uma hidrelétrica precisa de duas condições:

- Queda (desnível): Diferença de altitude (nível) entre os pontos onde a água é captada e onde é liberada de volta ao leito; medida aqui em metros (m);
 - Vazão: Quantidade de água captada que flui em um determinado tempo; medida aqui em litros por segundo (l/s).

É possível ainda gerar energia num curso d’água sem queda, somente com a energia cinética (da água em movimento), porém com uma eficiência reduzida (como foi citado anteriormente).

A **potência** de uma hidrelétrica pode ser estimada por:

$$P = \rho \cdot g \cdot V \cdot D \cdot \eta S / 1000 \text{ (kW)}$$

Onde:

P: Potência média (kW)

ρ : Densidade da água (aproximadamente 1 kg/dm³)

g: Aceleração da gravidade (aproximadamente 9,81 m/s²)

V: Vazão turbinada (l/s)

D: Queda (desnível) (m)

η_S : Eficiência total do sistema (de 0 a 1, ou de 0% a 100%)

A eficiência total por sua vez é decomposta em vários fatores:

$$\eta_S = \eta_H \cdot \eta_T \cdot \eta_M \cdot \eta_G \cdot \eta_E$$

η_H : Eficiência do sistema hidráulico (canal, tubulação)

η_T : Eficiência da turbina

η_M : Eficiência da transmissão mecânica (correia, acoplamentos)

η_G : Eficiência do gerador

η_E : Eficiência da transmissão elétrica

Simplificando:

Podemos simplificar o cálculo acima por uma estimativa aproximada assumindo:

$$P \approx \eta_S \cdot V \cdot D / 100 \text{ (kW)}$$

Sendo a eficiência do sistema η_S dada por:

Tabela 13: Potência x eficiência (hidrelétrica)

Potência Instalada (kW)	η_S aproximada
Até 2,5 kW	0,50
Acima de 2,5 até 6 kW	0,55
Acima de 6 até 15 kW	0,60

Acima de 15 até 35 kW	0,65
Acima de 35 até 80 kW	0,70
Acima de 80 até 200 kW	0,75
Acima de 200 kW até 500 kW	0,80
Acima de 500 kW	0,85

Pode-se observar que a eficiência do sistema tende a aumentar com seu porte. Isto se deve a diversos ganhos de escala obtidos em sistemas maiores, como:

- Equipamentos e sistemas de controle mais eficientes (e complexos);
- Aumento da eficiência conforme o porte dentro de uma mesma linha de equipamentos;
- Maiores gastos com um projeto mais meticoloso.

Simplificando ainda mais, podemos usar a tabela abaixo, criada a partir da estimativa descrita acima, para termos uma noção do potencial de geração aproximado, a partir da queda e vazão disponíveis:

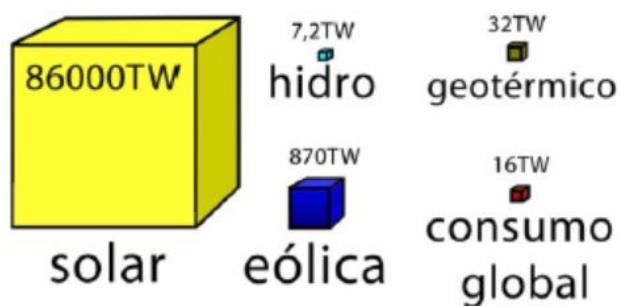
Tabela 14: Queda x vazão e potencial (hidrelétrica)

Queda (m)	1	2	5	10	20	50	100	200	500
	Vazão (l/s)	Potencial de geração aproximado (kW)							
5	0,025	0,050	0,13	0,25	0,50	1,3	2,8	6,0	16
10	0,050	0,10	0,25	0,50	1,0	2,8	6,0	12	35
20	0,10	0,20	0,50	1,0	2,0	6,0	12	26	70
50	0,25	0,50	1,3	2,8	6,0	16	35	70	200
100	0,50	1,0	2,8	6,0	12	35	70	150	400
200	1,0	2,0	6,0	12	26	70	150	320	850
500	2,8	6,0	16	35	70	200	400	850	2.125
1.000	6,0	12	35	70	150	400	850	1.700	4.250
2.000	12	26	70	150	320	850	1.700	3.400	8.500
5.000	35	70	200	400	850	2.125	4.250	8.500	21.250
10.000	70	150	400	850	1.700	4.250	8.500	17.000	42.500
20.000	150	320	850	1.700	3.400	8.500	17.000	34.000	85.000

6.5 Solar Fotovoltaica

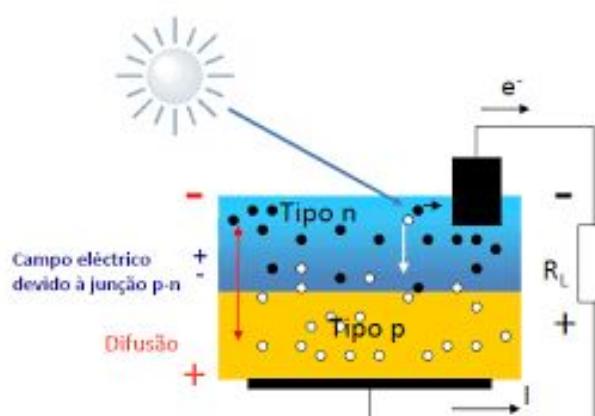
Figura 27: Potencial de produção de energia de fontes renováveis

Em apenas 1 hora o Sol emite energia suficiente milhares de vezes o consumo humano do ano inteiro, sendo assim o maior produtor de energia próximo à Terra; esse potencial elevado pode ser observado claramente na imagem.



(Fonte: University of Stanford, apud DIENSTMANN, 2009)

Como apresentado na *Figura 3*, o Sol irradia sua potência energética através de diversos fenômenos no planeta, influenciando-os de forma direta e com força incomparável. Sua absorção e conversão para utilização humana pode ser feita através de múltiplos processos, mas este capítulo irá focar no aproveitamento da radiação eletromagnética, através do efeito fotovoltaico.



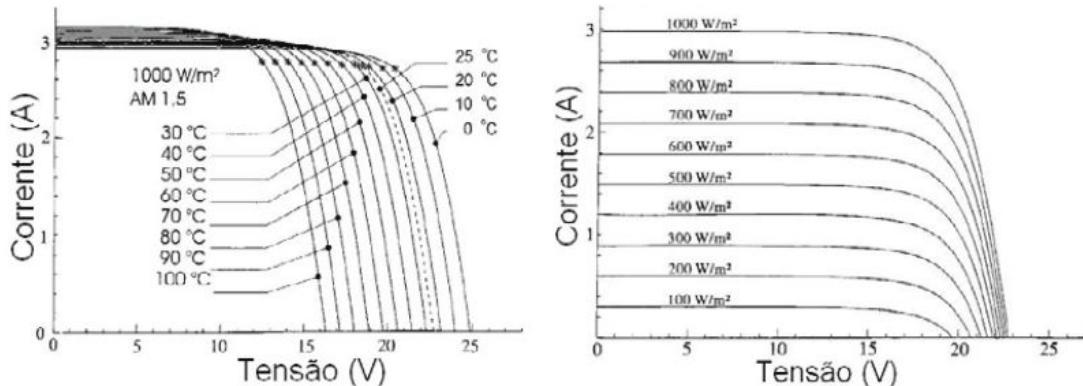
As placas, quando expostas ao Sol ou outra luz na frequência visível, geram uma diferença de potencial como consequência do choque entre os fótons vindos da fonte e os elétrons do material, conforme ilustrado ao lado. Essa diferença é direcionada a um conversor, que

Figura 28: Funcionamento simplificado das células solares
(Fonte: Timane)

transforma a corrente de elétrons de contínua para alternada, permitindo que ela possa ser usada para diversas aplicações com os equipamentos modernos produzidos atualmente.

Por estarem expostas ao ambiente externo e direcionadas o máximo possível em direção perpendicular ao Sol, a produção de energia, a corrente e a tensão variam conforme, além da incidência, da posição e das massas de ar, também da temperatura, conforme pode ser observado nos gráficos abaixo.

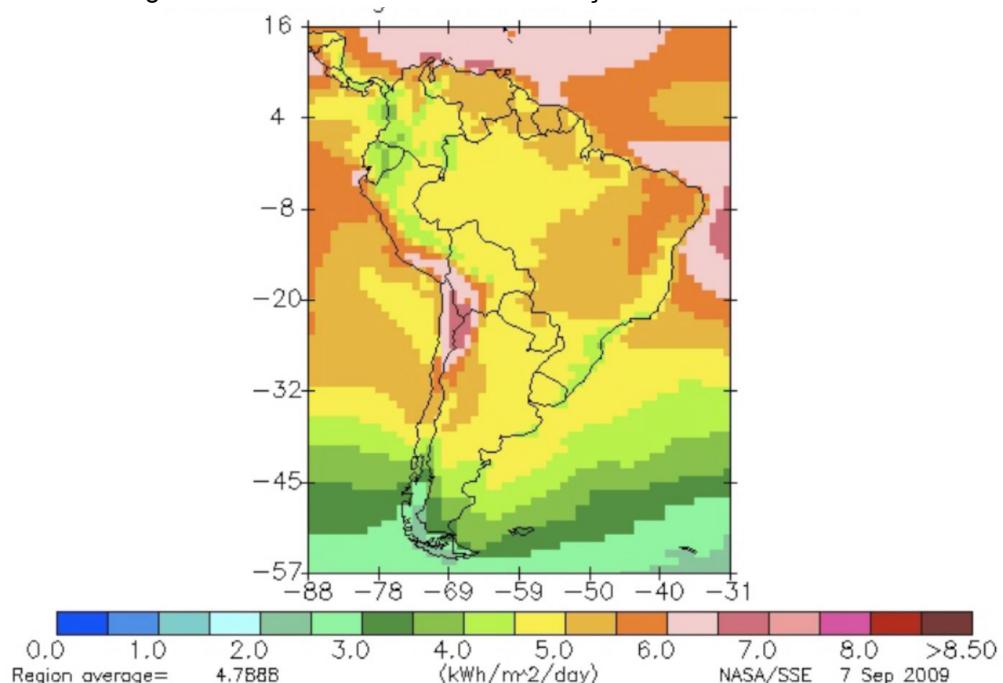
Figura 29: Variação da tensão e corrente em uma célula solar



(Fonte: CRESESB, 2015 apud Shayani, 2006)

De qualquer forma, o Brasil tem um nível de incidência de irradiação solar relevante e com sua larga extensão territorial, possui capacidade para instalar grandes projetos de produção, mas também pode igualmente ser aproveitada por pequenos consumidores.

Figura 30: Média Anual Brasil de insolação de 1983 a 2005

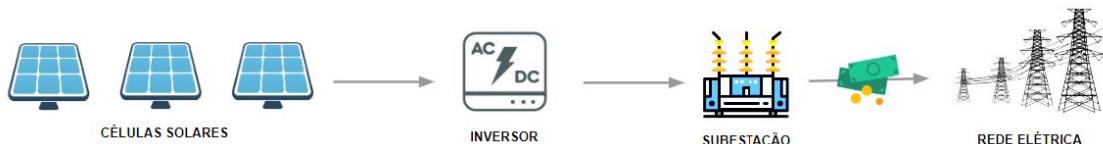


(Fonte:NASA apud Dienstmann, 2009)

Modelos de Distribuição

Além da compreensão e estudo da implantação de sistemas fotovoltaicos no que se refere à geração, também é de extrema importância analisar e propor modelos de distribuição que melhorem o funcionamento do sistema como um todo. O modelo de geração centralizada é herdado do planejamento do século XX e, resumidamente, propõe o desenvolvimento de projetos que centralizam a geração de energia elétrica em um ponto focal, característica que atendia as necessidades da época, conforme ilustrada a seguir:

Figura 31: Modelo centralizado de geração de energia



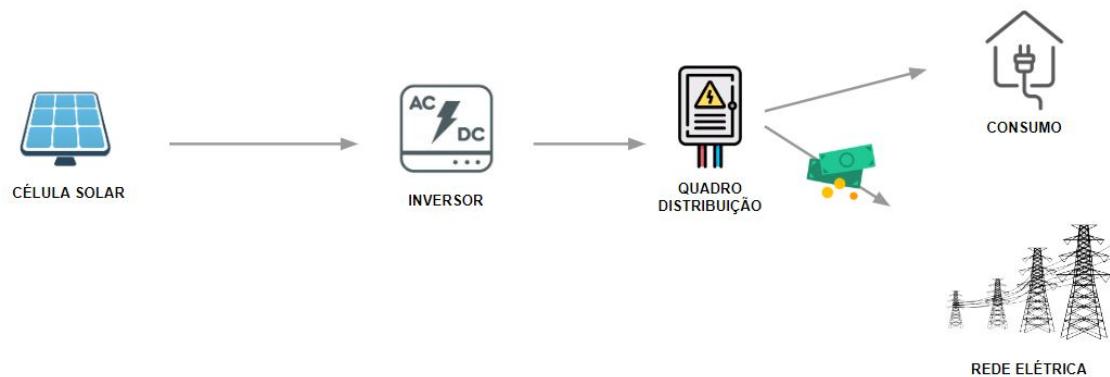
(Fonte: SEBRAE, 2017, elementos gráficos alterados)

Neste modelo toda a carga gerada está concentrada em um único local e se faz necessária a construção de grandes redes de transmissão para atender a população, porém, com a escala territorial brasileira, isso envolve naturalmente altos custos de instalação, gestão e manutenção, além das perdas decorrentes do próprio processo de transmissão com as tecnologias disponíveis e usadas largamente pelo mercado.

Isso também ameaça a segurança e disponibilidade ao se conceber um sistema nacional de geração e distribuição de energia, pois um problema crítico pontual pode causar apagões generalizados, prejudicando milhares de pessoas e gerando grandes prejuízos.

Nesse sentido, é preciso repensar os modelos de distribuição de energia levando em consideração as demandas do século XXI, e os sistemas fotovoltaicos tem papel importante ao possibilitar o modelo distribuído de geração, conforme imagem a seguir.

Figura 32: Modelo distribuído de geração de energia



(Fonte: SEBRAE, 2017, elementos gráficos alterados)

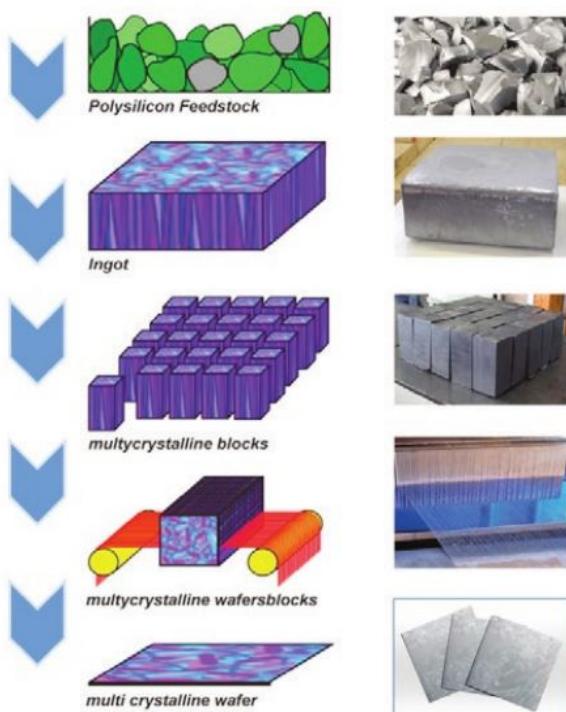
Nesse modelo a geração é feita mais próxima possível ao consumo, então a carga gerada nos painéis pode ser utilizada rapidamente nos equipamentos, neutralizando praticamente as perdas de transmissão. Se a geração for maior do que o consumo, o sistema injeta essa carga na rede da companhia para que outras pessoas consigam usar, através de um quadro de distribuição especialmente desenvolvido para “rodar” nos dois sentidos.

Ao fazer isso, são gerados automaticamente créditos que podem ser compensados no período noturno, quando a produção é interrompida. Isso elimina a necessidade, a complexidade e os custos de adquirir e gerir um banco de baterias físicas, ao utilizar as redes atuais de transmissão como uma “bateria virtual”.

Fabricação

A produção das células solares fotovoltaicas é feita majoritariamente com silício cristalino, correspondendo a mais de 90% da fatia de mercado. Esse material é abundante no planeta e de fácil extração, não tendo propriedades radioativas ou intoxicantes.

Figura 33: Etapas de fabricação de polisilício a wafer



O silício é extraído inicialmente das rochas e após passar por um processo de purificação, ele é fundido em blocos.

Depois disso, ele é cortado em pedaços menores (normalmente 150mm x 15mm) em seguida fatiado em camadas finas e sobrepostas com materiais protetores, como vidro ou polímeros.

(Fonte:Jaíba Solar, 2017)

Figura 34: Célula Solar monocristalina



Por fim, essas células são agrupadas, tipicamente a cada 60 ou 72, instalado alguns componentes de conexão para formar os módulos que habitualmente conhecemos.

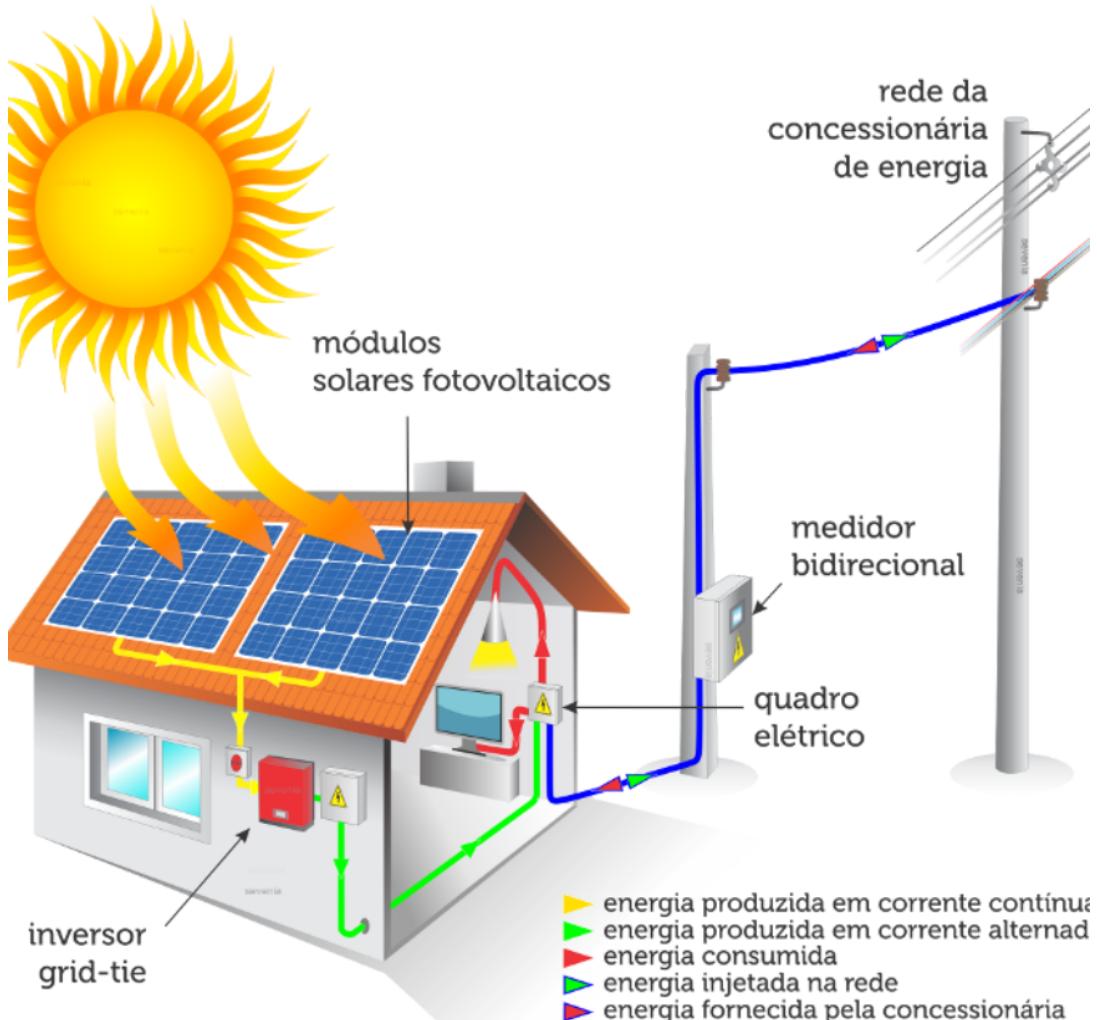
(Fonte:Jaíba Solar, 2017)

Instalação

A instalação de sistemas fotovoltaicos é relativamente bem mais rápida em comparação com outros métodos de geração, podendo por exemplo, ser realizada em um único dia em uma residência e causa menos impacto ambiental e necessidades de adaptação do local.

De forma resumida, o sistema necessita apenas de painéis solares, normalmente ligados em conjunto, direcionando a corrente para um ou mais conversores, transformando-a de Corrente Contínua para Corrente Alternada, que já pode ser utilizada a seguir.

Figura 35: Equipamentos para geração fotovoltaica em uma residência



(Fonte: Solar Serra)

Independente da capacidade instalada, outro fator relevante para a geração fotovoltaica é a capacidade de fácil e acessível expansão, dado a modularidade que o sistema funciona.

“As melhores práticas recomendam que o painel fotovoltaico seja colocado em direção ao norte verdadeiro, para o caso de estar localizado no hemisfério sul, e voltado para o sul verdadeiro, caso esteja localizado no hemisfério norte, ou seja, $\gamma = 0^\circ$ ou $\gamma = 180^\circ$, voltando-o sempre para a direção da Linha do Equador. Essa recomendação visa converter a maior quantidade de irradiação solar para o arranjo em uma posição fixa, pois, ao meio-dia solar, momento em que a massa de ar é menor, os raios incidentes mais intensos estão perpendiculares ao plano óptico do painel, gerando maior aproveitamento.” (Jaíba Solar, 2017).

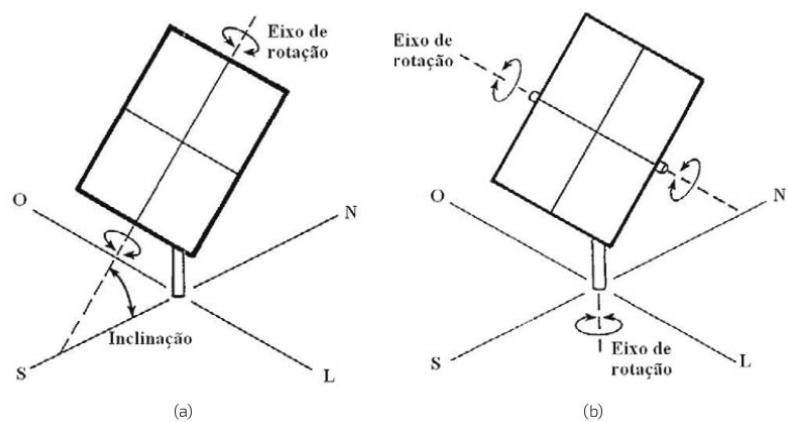
Seguidores do Sol

Com o incremento desta funcionalidade, é possível programar para que os painéis sincronizem o movimento com a posição do Sol durante o dia, garantindo assim que o ângulo de incidência dos raios solares fique em 90° e com isso gera um **incremento de 48% na geração**, valor considerável a médio e longo prazo.

Figura 36: Seguidores solares

A imagem ao lado representa 2 modelos de seguidores:

(a) com 1 eixo e (b) com 2 eixos de movimentação.



(Fonte: Marion, Wilcox apud Shayani, 2006)

Existem ainda 2 modos diferentes para controlar esse movimento:

1. Motores programados para repetir o movimento, por exemplo, 15º por hora.
2. Sistema integrado que segue a posição do Sol de forma automática.

Além da vantagem produtiva observada ao incrementar essa funcionalidade ao sistema, é importante destacar que como consequência temos uma preocupação maior com relação à manutenção, pois os motores precisam ser constantemente observados, calibrados e por vezes reparados.

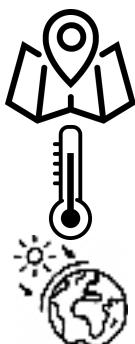
Manutenção

Por não exigir peças móveis, a manutenção deste tipo de sistema é drasticamente facilitada em comparação com outras formas de geração, sendo necessário apenas limpezas sazonais pois poeira e outras sujeiras atrapalham diretamente na geração.

Com a limpeza e manutenção preventiva simples, estima-se uma vida útil média do sistema de 25 a 30 anos; sob essa perspectiva de tempo, os valores economizados acumuladamente se tornar ainda mais relevantes, pois o investimento é feito somente na aquisição.

Desempenho

Como mencionado anteriormente, diversos fatores interferem na produção de energia fotovoltaica e eles precisam ser analisados em cada projeto de instalação para que o dimensionamento atenda às premissas. Entre elas:



Posição geográfica no planeta

Temperatura

Altitude, pois está relacionada com a massa de ar

A eficiência de cada painel solar (FV) é calculada através de Condições Padrões de Testes (STC), que são feitos com uma irradiação solar de 1 kW/m^2 com ângulo de 0° de incidência, espectro solar de massa de ar a 1,5 e temperatura da célula de 25°C .

Potência Máxima Definida $P_{máx}$ (Watt) – corresponde à potência máxima de saída de um painel que normalmente vem rotulada na etiqueta de identificação. A saída da potência atual pode ser estimada por:

$$P_{real} = P_{máx} \times S / 1.000 \times [1 - \lambda \times (T_{célula} - 25)]$$

$$T_{célula} = T_{ambiente} + s / 800 \times (T_{NOCT} - 20)$$

Onde:

- S - irradiação solar na superfície
- $T_{AMBIENTE}$ - temperatura ambiente
- T_{NOCT} - temperatura nominal de operação da célula
- λ - coeficiente de temperatura de potência máxima

(Fonte: Shayani, 2006)

Temperatura Nominal de Operação da Célula – temperatura atingida pelas células de circuito aberto, em um módulo, a uma irradiância de 800 W/m² e uma temperatura do ar ambiente de 20 °C e velocidade do vento de 1 m/s e montadas com a parte posterior aberta. A NOCT é um parâmetro muito crítico que é exigido por vários métodos/normas de classificação de desempenho, qualificação e energia.

Ele pode ser usado com o Coeficiente de Temperatura de Potência Máxima para estimar a perda de potência devido ao aumento da temperatura. A diferença na temperatura da célula e na temperatura ambiente depende da intensidade da luz solar S (W/m²), seguindo a Equação:

$$T_{célula} = T_{amb} + [(NOCT - 20°C) / 800] \times S$$

A eficiência do módulo (h) como uma função da Temperatura da célula (T_c) pode ser obtida pela seguinte equação:

$$h = h_{std} \times [1 - \gamma \times (T_c - T_{std})]$$

Em que γ é o Coeficiente de Temperatura da Potência Máxima (%/°C), enquanto T_{std} e h_{std} são a temperatura da célula e a eficiência na condição-padrão, respectivamente.

Tabela 15: Produção estimada (solar)

Incidência Solar (Kwh/m ² /dia)	8,5	6	4	3	1
Área (m ²)	Produção Estimada (Kwh)/dia				
1	9	6	4	3	1
5	43	30	20	15	5
10	85	60	40	30	10
25	213	150	100	75	25
50	425	300	200	150	50
100	850	600	400	300	100
200	1.700	1.200	800	600	200
500	4.250	3.000	2.000	1.500	500
1.000	8.500	6.000	4.000	3.000	1.000
2.000	17.000	12.000	8.000	6.000	2.000
5.000	42.500	30.000	20.000	15.000	5.000
10.000	85.000	60.000	40.000	30.000	10.000

Desafios

Assim como a maioria das tecnologias inovadoras, sua escalabilidade está diretamente ligada à capacidade de aquisição em alta escala e nesse contexto é imprescindível que políticas públicas incentivem os meios produtivos, através de diversos instrumentos já conhecidos, aumentando assim a oferta de produtos no mercado, o que tende a reduzir o preço.

Como o sistema fotovoltaico é extremamente falho quando comparamos a estabilidade de geração, visto que durante a noite a produção é interrompida, e a humanidade precisa de energia durante 24 horas, temos aqui outros 2 desafios:

- Desenvolver formas de armazenar energia de forma eficiente, segura, barata e ecologicamente viável.
- Trabalhar com outros sistemas para equilibrar a intermitência da geração

Além disso, a eficiência dos painéis ainda tem espaço para serem melhoradas e isso precisa ser feito através de Pesquisa e Desenvolvimento, com apoio à ciência de base, incentivado pela iniciativa pública e privada.

Estudo de Caso

Como intenção de trazer os dados apresentados à casos que possam ser visualizados mais facilmente com aplicações no mundo real, serão usados 2 exemplos, um em pequeno escala e outro em alta.

Pequena Escala

Para ilustrar uma instalação em pequena escala, usaremos como exemplo 3 residências, do mesmo tamanho, porém em 3 locais distintos no Brasil: São Paulo, Pernambuco e Amazonas.

A casa simulada terá um consumo médio mensal de 200 Kwh e os valores são baseados em fornecedores nacionais, para evitar desvios cambiais, e neste caso foi escolhida a empresa NeoSolar.

Os cálculos estão abaixo:

Tabela 16: Valores médios simulados para geração fotovoltaica no Brasil

ESTADO	GASTO MENSAL	INVESTIMENTO (DE - ATÉ)	ECONOMIA 30 ANOS	POTÊNCIA SISTEMA (kWp)
SÃO PAULO	R\$ 122	R\$ 9.462	R\$ 14.741	R\$ 100.176 1,39
PERNAMBUCO	R\$ 150	R\$ 8.653	R\$ 13.233	R\$ 123.167 1,27
AMAZONAS	R\$ 174	R\$ 8.697	R\$ 13.301	R\$ 142.874 1,28
MÉDIAS	R\$ 149	R\$ 8.937	R\$ 13.758	R\$ 122.072 1,31

ESTADO	Nº MOD	PROD. ANUAL (kWh)	AREA	PESO (kg)
SÃO PAULO	5	1800	9,74	132,19
PERNAMBUCO	5	1800	8,91	120,88
AMAZONAS	5	1800	8,95	121,50
MÉDIAS			9,20	124,86

Fonte: Autores

Alta Escala

Para visualizarmos um projeto em alta escala, será usado como exemplo o consumo médio mensal da EACH - USP. Foram levantados os valores gastos na unidade através dos dados públicos divulgados pela USP, nos seguintes meses abaixo, conforme anexos.

- Abril/2019
- Maio/2019
- Junho/2019
- Setembro/2019

Considerando a média mensal de consumo em torno de 70.000kWh, foi feita a seguinte simulação para instalação do sistema na EACH conforme imagem a seguir.

Figura 37: Retornos financeiros sobre instalação fotovoltaica

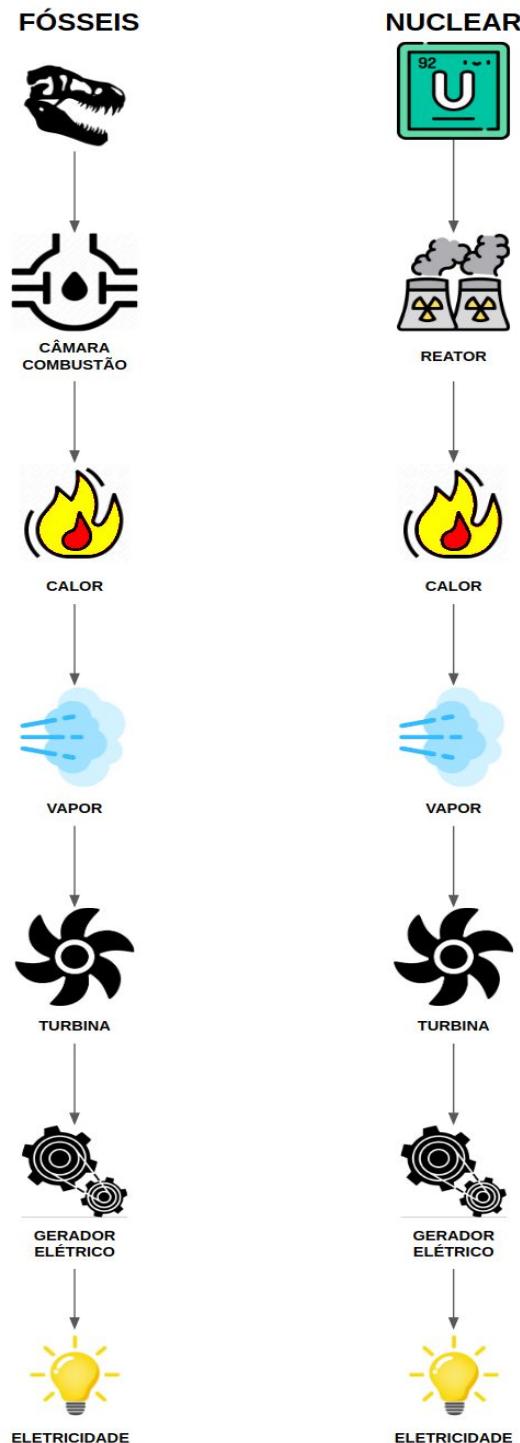


Além do retorno financeiro, é importante mencionar os ganhos ecológicos que essa alteração gera, conforme apêndice.

6.6 Cadeias de Transformação Energética

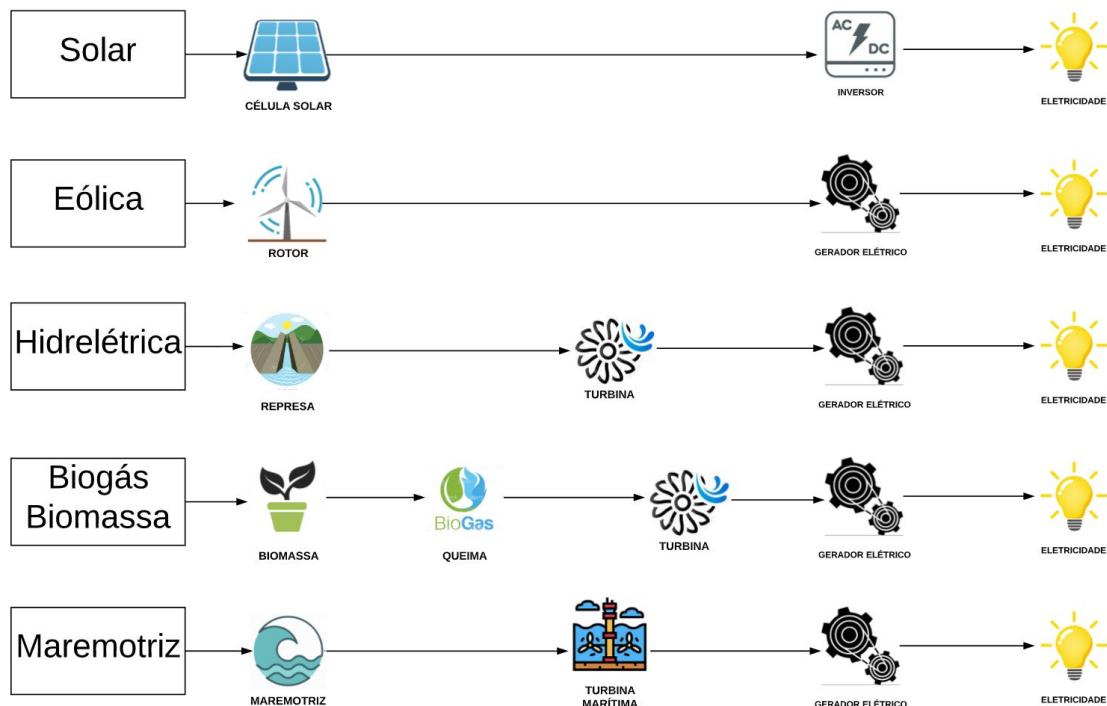
Para efeitos comparativos, as fontes serão classificadas quanto à origem:

Figura 38: Cadeias de transformação energética não-renovável



(Fonte: Shayani, 2006 - alterado)

Figura 39: Cadeias de transformação energética renovável



(Fonte: Shayani, 2006 - alterado)

6.7 Comparativos

As seguintes imagens nos basearam e nos motivaram a criar algo semelhante ao criar tabelas comparativas:

Tabela 17: Potencial energias não renováveis

Potencial de geração de energia por origem	
Origem	Produção
1 kg de lenha	1 KWh
1 kg de carvão	3 KWh
1 kg de petróleo	4 KWh
1 kg de urânio	50.000 KWh

Figura 40: Equivalências energéticas



Instituto Brasileiro de Mineração | 2010

Apesar de não utilizarmos nenhum destes dados acima, eles foram fundamentais para nos incentivar a montar as tabelas, foram uma ideia genial.

7. RESULTADOS

A partir de toda pesquisa que foi exposta, foram elaboradas três tabelas comparativas com o objetivo de facilitar o entendimento do assunto. As duas primeiras tabelas são de carácter qualitativo e discutem, de maneira simplificada, as vantagens e desvantagens de cada geração de energia de acordo com diferentes critérios estabelecidos pelo grupo.

Tabela 18: Vantagens

VANTAGENS	SOLO	ÁGUAS	ATMOSFERA	ECOSISTEMA	ENERGIA	CUSTO IMPLANTAÇÃO	CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	DEPENDÊNCIA FONTE
SOLAR FOTOVOLTAICA	Não impacta no solo durante o uso.	Não impacta nas águas.	Não gera gases poluentes na produção de energia	Não impacta no ecossistema durante o uso.	Grande disponibilidade.		Baixo, somente limpeza (+30 anos)	Inegotável
EÓLICA	Não impacta no solo.	Não impacta nas águas.	Não gera gases poluentes na produção de energia.	Não prejudica a Flora local.	Grande potencial para crescimento, por abundância do recurso utilizado.		Médio, manutenção Anual.	Depende da ocorrência de ventos com uma velocidade mínima.
HIDRELÉTRICA	Não necessita (muitas vezes) de alterações no curso.	Não agressivo, ajuda na irrigação e transporte.	Não gera gases poluentes na produção de energia	Recursos utilizados baixos	Alta Eficiência		Baixo, somente manutenções periódicas.	Inegotável relativo a fonte de água
BIOMASSA DE CANA	Não necessita de alterações no solo.	Não necessita de interação com recursos hídricos.	Gera poucos gases poluentes por respeitar o ciclo do carbono.	Benefício para o ecossistema	Alto potencial térmico e escalabilidade	Relativamente baixo	Baixo e mais eficiente conforme a escala da usina.	Dependente dos rejeitos orgânicos e das safras.
BIOGÁS			Diminui as emissões de gases estufa		Supre a demanda de centros		Baixo	Abundante em centros urbanos
MAREMOTRIZ	Não impacta o solo, tais usinas ficam contidas dentro dos mares.	Interage com a água do mar, mas não é prejudicial.	Não gera gases poluentes na produção de energia	Não prejudica outras espécies que não sejam marítimas	Pouca disponibilidade.		Médio, manutenção anual.	Inegotável, relativo a fonte de água do mar.

Tabela 19: Desvantagens

DESVANTAGENS	SOLO	ÁGUAS	ATMOSFERA	ECOSISTEMA	ENERGIA	CUSTO IMPLANTAÇÃO	CUSTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	DEPENDÊNCIA
SOLAR FOTOVOLTAICA	Usa metais pesados na produção.	Não impacta nas águas.	Emissão de poluentes somente na criação.	Impacto dos metais pesados.	Baixa eficiência na conversão, necessita de grande área.	Alto.	Em caso de acidentes, alto custo reposição	Depende da localização e condições climáticas.
EÓLICA	Não impacta no solo.	Não impacta nas águas.	Emissão de poluentes somente na criação.	Prejudica algumas aves. Poluição sonora.	Baixa disponibilidade (depende do relevo).	Alto custo para implantação.	Custo de manutenção é alto.	Depende da ocorrência de ventos com mais de 6,5m/s de velocidade.
HIDRELÉTRICA	Submersão do terreno e lixiviação dos solos.	Alteração no curso das águas e nos lençóis freáticos.	Emissão de poluentes somente na criação.	Grande Impacto na fauna e flora local. Deslocação da população local	Baixa disponibilidade (dependência de águas e relevo)	Alto.	Necessita de atenção contínua.	Variações climáticas podem afetar a produção de energia.
BIOMASSA DE CANA	Não necessita de alterações no solo.	Nenhum impacto	Emissão de gases poluentes da queima	Nenhum impacto negativo	Cerca de 70% do potencial energético não é convertido		Necessita de atenção contínua.	Necessidade de rejeitos orgânicos em abundância.
BIOGÁS	Aterros impactam o solo	Se mal construído, o aterro pode contaminar	Emissão de gases poluentes da queima	Impacto do aterro	3 anos após o investimento. Duração de 15 anos.	Alto	Necessita de atenção contínua.	Depende de uma rede integrada de coleta de lixo
MAREMOTRIZ	Não impacta no solo.	Nenhum impacto	Emissão de poluentes somente na criação.	Impacto na fauna marinha local.	Baixa eficiência de conversão e Disponibilidade	Alto .	Alta devido corrosividade da água salgada.	Depende do relevo litorâneo e de marés.

Vale ressaltar que as regiões de uma tabela que estão vazias se encontram preenchidas na sua região equivalente na outra. Todos os métodos de geração possuem diversas vantagens e desvantagens, de tal modo que não há uma resposta definitiva para qual o melhor método, mas sim, qual o melhor método para determinada necessidade, região e abundância de recurso renovável.

Já na parte quantitativa, foi elaborada a seguinte tabela:

Tabela 20: Exemplos e dados quantitativos

Energia	Implementação (R\$/MWh)	Operação e Manutenção (R\$/MWh)	Geração de energia (MWh)	Longevidade (anos):	Baseado em:
Solar	93,63		89,75	Mín: 30	EACH
Eólica	34,28	230,59	230,72	Aprox: 15	Média Brasileira
Biomassa	214,04	20,80	197,75	Enquanto durar usina sucroalcooleira	4 Usinas SP
Biogás	210,94	9,04	408,61	Aprox: 15	Aterro de Gramacho
Maremotriz	66,22	342,46	63,9	Aprox: 50	Usina Sihwa Lake
Hidrelétrica	2.348,52	4,00	9.615,38	Mín: 200	Usina Itaipu

Esta tabela foi construída a partir da análise dos dados trazidos pelas pesquisas apresentadas em cada um dos tópicos energéticos discutidos anteriormente no trabalho. É importante elucidar que todas as unidades foram normalizadas tomando como base um ano médio de geração de energia. O custo de Operação e Manutenção da energia Solar não foi colocado por ser ínfimo, já que os painéis fotovoltaicos raramente necessitam de manutenção. Os dados apresentados na energia Solar são referentes à uma simulação de geração de energia no campus EACH-USP. A Longevidade do campo Biomassa (referente a cogeração através da queima de bagaço de cana-de-açúcar) também não tem um valor numérico já que é integrada à uma usina sucroalcooleira, algumas com mais de 200 anos de história, o que sugere uma longevidade comprida destas empresas. Os demais dados estão explicitados nos respectivos tópicos energéticos.

Começando agora a análise desta tabela, fica evidente que em matéria de geração bruta de energia as Hidrelétricas têm muito mais potencial que os

outros métodos, embora sejam também muito mais caras e precisam de investimentos a nível governamental/federal. Já no quesito custo/benefício geral, se destaca a energia Solar. Portátil, de fácil instalação, alta escalabilidade, baixo custo de manutenção e cada vez mais eficiente, a energia Solar tem todos os requisitos para se tornar a energia mais utilizada no futuro, para suprir tanto uma demanda de nível nacional, quanto doméstica e comercial. Outro destaque de grande potencial é a energia Eólica, que possui um custo de instalação relativamente baixo para um potencial energético grande, embora dependa da disponibilidade de ventos. Entrando no quesito de Biomassa (cogeração), seus custos não são os mais atrativos da tabela, porém, é um método que só deve ser aplicado em usinas que já trabalhem com moagem de cana. As vantagens da cogeração se dão em aspectos mais diversos como a autonomia destas usinas, venda de crédito de carbono e retorno rápido de investimento, não somente custo inicial por produção total de energia. Na área de Biogás de aterro, a normalização dos dados mascara um pouco o retorno esperado para este investimento, já que a produção de energia não é constante durante sua longevidade. Vemos que no decorrer dos 15 anos da usina de biogás de aterro, muita energia é gerada, o que pode ser uma solução para áreas sem acesso à muitos recursos renováveis que não o lixo, embora o retorno deste investimento seja demorado. Por fim, a energia Maremotriz também se mostra como uma alternativa de grande potencial, porém, ainda é um método muito recente em fase de testes, com basicamente só a usina de Sihwa Lake como caso concreto. Conforme a tecnologia avança, a energia Maremotriz tende a utilizar mais do seu potencial.

8. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Conclui-se que o trabalho em sua completude aborda bem a questão de pesquisa: *“Dentre a exposição das energias renováveis, qual delas seria mais viável e vantajosa para dadas situações?”*. Para tanto, o trabalho não presume um método de geração energética como estritamente melhor que outro, mas sim, tem seu foco em explorar os mecanismos por trás de cada método para então fazer um comparativo qualitativo e quantitativo dos aspectos ambientais, energéticos e econômicos de cada um. Este trabalho se baseia em diversos estudos físicos de transformação de energia e também em diversos estudos de casos reais e simulados, com o objetivo de servir como uma espécie de coletânea de áreas do conhecimento relacionadas à energia sustentável. Com base neste trabalho é possível, então, guiar minimamente decisões públicas ou privadas de investimento em energia sustentável, bem como adquirir ferramentas e fontes necessárias para aprofundar o conhecimento em cada uma das áreas aqui abordadas.

Para facilitar ainda mais a visualização dos comparativos realizados neste trabalho, também foi desenvolvido um chatbot de Telegram que contém grande parte das informações apresentadas e que pode ser acessado a partir de qualquer dispositivo conectado à internet a qualquer momento pelo seguinte link do aplicativo Telegram: https://t.me/energia_renovavel_bot. Ou através do scan do QR code:



Dificuldades encontradas:

Um dos maiores desafios deste trabalho é encontrar um jeito de especificar a energia, ou seja, determinar o custo em reais por quantidade de energia elétrica gerada. No tópico de biomassa, por exemplo, é difícil estabelecer um padrão de gastos, uma vez que existem diversas maneiras de se aproveitar os diversos tipos de rejeito orgânico para geração de potencial elétrico.

Durante nossas pesquisas iniciais encontramos um artigo da Revista Brasileira de Energias Renováveis que faz uma “análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil” utilizando uma metodologia proveniente da física, relacionando o potencial elétrico de cada gerador de cada energia com seus custos. Esta referência, juntamente com preços de leilões energéticos no país e outros artigos e estudos de caso específicos de cada área energética, são os pilares de apoio principais do nosso trabalho no quesito custo e funcionamento.

Outra dificuldade é o caráter subjetivo de comparação entre alguns aspectos das energias. Qual é o elemento de maior peso, ou seja, o que vale mais para o país no contexto em que se encontra: custo benefício, emissões de gases estufas, facilidade de aplicação, manutenção, geração de emprego, quantidade total de potencial energético. Todos estes pontos serão discutidos a fim de montar uma correlação entre as energias, mas a dificuldade de apontar a melhor dentre elas se dá dentro deste contexto subjetivo.

Conquistas e Pontos positivos:

Apesar de todas as dificuldades impostas, o grupo conseguiu lidar com elas muito bem e como um time. Foram superados pontos importantes mesmo depois da saída de um membro do grupo e dentro de um contexto de quarentena. Desde o início o grupo teve muita sincronia e sensação de satisfação com os membros, bem como com os resultados da progressão do trabalho.

Houve uma boa conexão desde o primeiro dia, o funcionamento do trabalho e a caminhada percorrida foi incrível e é um dos motivos pelo qual a matéria nos fez bem, coisa que muitas outras estão fazendo justamente o contrário. O tutor Fábio Nakano também foi completamente atencioso, apoiando e auxiliando sempre. No geral ele se encaixou perfeitamente no nosso grupo e nos auxiliou em todos os problemas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

“a hidreletricidade é a base do suprimento energético do Brasil”
(MÜLLER, 1995)

“o potencial hidrelétrico brasileiro está entre os cinco maiores do mundo. Esta energia desempenha um papel muito importante na integração e desenvolvimento de regiões por todo o brasil.” (WOLNEY, 2014)

“queimar o bagaço e a palha com pouco oxigênio, de forma autotérmica de maneira a obter um gás contendo principalmente CO + H₂” (IPT, 2012)

“As melhores práticas recomendam que o painel fotovoltaico seja colocado em direção ao norte verdadeiro, para o caso de estar localizado no hemisfério sul, e voltado para o sul verdadeiro, caso esteja localizado no hemisfério norte, ou seja, $\gamma = 0^\circ$ ou $\gamma = 180^\circ$, voltando-o sempre para a direção da Linha do Equador. Essa recomendação visa converter a maior quantidade de irradiação solar para o arranjo em uma posição fixa, pois, ao meio-dia solar, momento em que a massa de ar é menor, os raios incidentes mais intensos estão perpendiculares ao plano óptico do painel, gerando maior aproveitamento.”
(Jaíba Solar, 2017).

“Alternativas renováveis e de menor impacto ambiental como energia eólica, solar e fontes de energia oriundas dos mares se mostram boas possibilidades por não se esgotarem e nem produzirem resíduos ou emissões ao ambiente. Um comprovado potencial energético está nos oceanos, estimado em cerca de 3 TW, porém sendo apenas de 2% a 10% aproveitáveis devido a dispersão dessa energia em mar aberto e a alturas de marés modestas para exploração”
(CHARLIER, 2003)

10. MATERIAL SUPLEMENTAR

10.1 APÊNDICES

10.1.1 Simulações residenciais

Figura 41: Simulação fotoelétrica para Amazonas

The screenshot shows a web-based solar panel simulation tool. At the top, there's a navigation bar with the NeoSolar logo, a search bar, and links for 'A NEOSOLAR', 'CALCULADORA SOLAR', 'CURSOS', 'TUDO SOBRE', and 'LOJA'. Below the navigation, a yellow header bar indicates the user is on the 'CALCULADORA' page.

2. ONDE PRETENDE REALIZAR A INSTALAÇÃO?

AM ▾ MANAUS ▾

3. QUAL O TIPO DE LOCAL?

RESIDENCIAL EMPRESARIAL OUTRO

Fornecedor de Energia: NaN
Tarifa com imposto: R\$ 0,87

ALTERAR TARIFA

4. QUANTO VOCÊ PAGA EM ENERGIA NO MÊS?
(VOCÊ PODE MOVER A BARRA COM O MOUSE OU CLICAR E EDITAR O VALOR)

RS174

Consumo estimado: 200

RESULTADO

INVESTIMENTO

De R\$ 8.696,62 a R\$ 13.300,71
Estimativa de investimento: De R\$ 8.696,62 a R\$ 13.300,71
Economia mensal: R\$ 130,50
Economia total acumulada em 30 anos: R\$ 142.874,01
VER GRÁFICO

ESTIMATIVA AMBIENTAL

EQUIVALENTE A 235.200 KM DE CARRO ELÉTRICO
Redução de CO₂ na atmosfera: 25.793 kg CO₂
Equivalente a árvores plantadas: 184 árvores
Equivalente a KM rodados de carro: 235.200 km

SISTEMA INDICADO

1,28 kWp
Tamanho do Sistema: 1,28 kWp
Número de Módulos: 5 módulos
Produção anual estimada: 1.800 kWh
Área necessária: 8,95 m²
Peso estimado: 121,50 kg

Figura 42: Simulação fotoelétrica para Pernambuco

The screenshot shows the NeoSolar website interface for a solar panel simulation. The top navigation bar includes links for 'A NEOSOLAR', 'CALCULADORA SOLAR', 'CURSOS', 'TUDO SOBRE', and 'LOJA'. Below the navigation, a yellow header bar indicates the location as 'PE' (Pernambuco) and the city as 'RECIFE'. The main content area is divided into several sections:

- 2. ONDE PRETENDE REALIZAR A INSTALAÇÃO?**: Shows dropdown menus for 'PE' and 'RECIFE'.
- 3. QUAL O TIPO DE LOCAL?**: Offers three options: 'RESIDENCIAL' (with a house icon), 'EMPRESARIAL' (with a building icon), and 'OUTRO' (with a sun icon).
- Informações de Energia:**
 - Fornecedor de Energia: NaN
 - Tarifa com imposto: R\$ 0,75
- ALTERAR TARIFA
- 4. QUANTO VOCÊ PAGA EM ENERGIA NO MÊS?**: A slider bar set at R\$150. Below it, 'Consumo estimado' is shown as 200kWh.
- RESULTADO**: A large yellow button.
- INVESTIMENTO**: Shows the range from R\$ 8.652,65 a R\$ 13.233,46. Sub-sections include 'Estimativa de investimento' (R\$ 8.652,65 a R\$ 13.233,46), 'Economia mensal' (R\$ 112,50), and 'Economia total acumulada em 30 anos' (R\$ 123.167,25). A 'VER GRÁFICO' button is present.
- ESTIMATIVA AMBIENTAL**: Shows the equivalent impact of 235.200 km driven by an electric car. Sub-sections include 'Redução de CO₂ na atmosfera' (25.793 kg CO₂), 'Equivalente a árvores plantadas' (184 árvores), and 'Equivalente a KM rodados de carro' (235.200 km).
- SISTEMA INDICADO**: Shows system specifications. Sub-sections include 'Tamanho do Sistema' (1,27 kWp), 'Número de Módulos' (5 módulos), 'Produção anual estimada' (1.800 kWh), 'Área necessária' (8,91 m²), and 'Peso estimado' (120,88 kg).

Figura 43: Simulação fotoelétrica para São Paulo

NeoSolar

A NEOSOLAR CALCULADORA SOLAR CURSOS TUDO SOBRE LOJA

< HOME . CALCULADORA

2. ONDE PRETENDE REALIZAR A INSTALAÇÃO?

SP  SAO PAULO 

3. QUAL O TIPO DE LOCAL?

 RESIDENCIAL  EMPRESARIAL  OUTRO

Fornecedor de Energia	NaN
Tarifa com imposto	R\$ 0,61

ALTERAR TARIFA

4. QUANTO VOCÊ PAGA EM ENERGIA NO MÊS?
(VOCÊ PODE MOVER A BARRA COM O MOUSE OU CLICAR E EDITAR O VALOR)

 R\$122 

Consumo estimado  200KWh

RESULTADO

 INVESTIMENTO De R\$ 9.461,70 a R\$ 14.470,84 Estimativa de investimento De R\$ 9.461,70 a R\$ 14.470,84 Economia mensal R\$ 91,50 Economia total acumulada em 30 anos R\$ 100.176,03 VER GRÁFICO	 ESTIMATIVA AMBIENTAL EQUIVALENTE A 235.200 KM DE CARRO ELÉTRICO Redução de CO ₂ na atmosfera 25.793 kg CO ₂ Equivalente a árvores plantadas 184 árvores Equivalente a KM rodados de carro 235.200 km	 SISTEMA INDICADO 1,39 kWp Tamanho do Sistema 1,39 kWp Número de Módulos 5 módulos Produção anual estimada 1.800 kWh Área necessária 9,74 m ² Peso estimado 132,19 kg
---	---	--

Figura 44: Simulação fotoelétrica para EACH



10.2 ANEXOS

10.2.1 Consumo mensal EACH

Figura 45: Consumo mensal abril/2019 EACH-USP

INFORME MENSAL DE ENERGIA ELETRICA DE UNIDADES MONITORADAS EM TEMPO REAL					Mês de Referência: Fevereiro				
LOCALIDADE: DEMAIS CAMPI DA USP					ANO: 2019		Indicadores Históricos de Gestão Energética		
Unidade	Prédio / Cabine Monitorada	Edifício(s) / Cargas Atendida(s) pela Cabine	Consumo (kWh)	Custo Total (R\$)	R\$ / kWh (retirado da fatura de energia)	Contribuição no Consumo Total do Campus	Área Construída (m2)	kWh / m2	W / m2
EACH	EACH - USP Leste*	Todo o Campus	117.706	70.655,14	0,45210	100,00%	43969,00	2,68	8,75

(Fonte: USP, 2020)

Figura 46: Consumo mensal maio/2019 EACH-USP

INFORME MENSAL DE ENERGIA ELETRICA DE UNIDADES MONITORADAS EM TEMPO REAL					Mês de Referência: Fevereiro				
LOCALIDADE: DEMAIS CAMPI DA USP					ANO: 2019		Indicadores Históricos de Gestão Energética		
Unidade	Prédio / Cabine Monitorada	Edifício(s) / Cargas Atendida(s) pela Cabine	Consumo (kWh)	Custo Total (R\$)	R\$ / kWh (retirado da fatura de energia)	Contribuição no Consumo Total do Campus	Área Construída (m2)	kWh / m2	W / m2
EACH	EACH - USP Leste*	Todo o Campus	117.664	69.999,67	0,46648	100,00%	43969,00	2,68	7,82

(Fonte: USP, 2020)

Figura 47: Consumo mensal junho/2019 EACH-USP

INFORME MENSAL DE ENERGIA ELETRICA DE UNIDADES MONITORADAS EM TEMPO REAL					Mês de Referência: Fevereiro				
LOCALIDADE: DEMAIS CAMPI DA USP					ANO: 2019		Indicadores Históricos de Gestão Energética		
Unidade	Prédio / Cabine Monitorada	Edifício(s) / Cargas Atendida(s) pela Cabine	Consumo (kWh)	Custo Total (R\$)	R\$ / kWh (retirado da fatura de energia)	Contribuição no Consumo Total do Campus	Área Construída (m2)	kWh / m2	W / m2
EACH	EACH - USP Leste*	Todo o Campus	103.624	56.779,38	0,49600	100,00%	43969,00	2,36	6,85

(Fonte: USP, 2020)

Figura 48: Consumo mensal setembro/2019 EACH-USP

INFORME MENSAL DE ENERGIA ELETRICA DE UNIDADES MONITORADAS EM TEMPO REAL					Mês de Referência: Fevereiro				
LOCALIDADE: DEMAIS CAMPI DA USP					ANO: 2019		Indicadores Históricos de Gestão Energética		
Unidade	Prédio / Cabine Monitorada	Edifício(s) / Cargas Atendida(s) pela Cabine	Consumo (kWh)	Custo Total (R\$)	R\$ / kWh (retirado da fatura de energia)	Contribuição no Consumo Total do Campus	Área Construída (m2)	kWh / m2	W / m2
EACH	EACH - USP Leste*	Todo o Campus	99.091	80.658,44	0,52580	100,00%	43969,00	2,25	6,28

(Fonte: USP, 2020)

* O período de leitura da fatura de energia elétrica do Campus EACH é diferente do Campus CUASO e, portanto, os valores podem não coincidir exatamente com os dados do Sistema em tempo real.

Fontes dos dados:	Centro de Controle da USP Sistema Contaluz da USP Divisão de Planejamento da SEF USP
-------------------	--

Obs: apesar de estar fevereiro em todos os anexos acima, eles foram retirados de diferentes arquivos do site, conforme link na bibliografia, complementando as observações de período mencionado acima.

BIBLIOGRAFIA

Algoritmo de Seguimento do Ponto de Máxima Potência para Sistemas Fotovoltaicos considerando Minimização de Erro e Derivada da Potência

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-84512020000100157&lang=pt

Aneel-

[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)

APROVEITAMENTO DA ENERGIA GEOTÉRMICA DO SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI - ESTUDO DE CASO

<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/22057/14417>

Artigo ANEEL Por Dellana Wolney, Junho 2014

<https://anebrasil.org.br/wp-content/uploads/images/pdf/artigos/o-potencial-hidrelétrico-brasileiro.pdf>

BARREIRAS E MECANISMOS DE IMPLEMENTAÇÃO À COGERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE BIOMASSA-

Bioenergia com resíduos do desdobro da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2019000200025&lang=pt

BIOGÁS – UMA ENERGIA LIMPA

<http://biomassaworld.com.br/wp-content/uploads/2016/04/biogs.pdf>

Boletim Anual de Geração Eólica

http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Boletim-Anual_2018.pdf

COGEN- A evolução da cogeração no país-

http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/workshop/2015/Apresentacao_COGEN_Abimaq.pdf

Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais

http://www.gsep.ene.unb.br/producao/marco/sbpe_2006.pdf

Complexo Parnaíba – Eneva

<https://www.eneva.com.br/nossos-negocios/geracao-de-energia/complexo-do-parnaiba/>

Confira os impactos ambientais causados pela biomassa

<https://www.dinamicambiental.com.br/blog/meio-ambiente/confira-impactos-ambientais-causados-biomassa/>

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTES RENOVÁVEIS NO BRASIL

https://www.fgv.br/fgvenergia/marcio_trannin_fontes_renovaveis/files/assets/common/downloads/publication.pdf

Encontro de Energia no Meio Rural - Energia da gaseificação de biomassa como opção energética de desenvolvimento limpo

http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100061&script=sci_arttext&tlang=pt

Energia à carvão convertida em energia verde - Ambientebrasil - Notícias

<https://noticias.ambientebrasil.com.br/redacao/2018/10/01/146994-planta-de-carvao-convertida-em-energia-verde.html>

Energia das ondas no Brasil.

<http://www.usp.br/portalbiossistemas/?p=7953>

ENERGIA EÓLICA NO BRASIL: UMA ANÁLISE DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS

Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão

<http://static.sites.sbz.org.br/rvq.sbz.org.br/pdf/v7n1a08.pdf>

Energy production from biomass (part 1): overview of biomass-
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852401001183?casa_token=D7VihQaRMIQAAAAACIVHsQDtPuEtSNID5KuuMGBMHWBxsordBKolwk8YZTWPzKdVedP_G97T1lcQusNAI8ckffghfg

Entenda como funciona a energia maremotriz, suas principais vantagens e desvantagens

<https://www.fragmaq.com.br/blog/entenda-como-funciona-energia-maremotriz-suas-principais-vantagens-e-desvantagens/>

EPE

<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

-Ethanol for a Sustainable EnergyFuture-

https://science.sciencemag.org/content/315/5813/808?casa_token=KINLeYfYUmcAAAAA:qHboYxmB-tcNJxADhHCI16cdlUesLVwgeHZ7CB2Nea0nyhbUqLSzeqRXoEpUAsKMWSeAgpCAx8Gfrg

Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052011000200007

Fontes de Energia. As fontes de energia pelo mundo - Escola Kids

<https://escolakids.uol.com.br/geografia/fontes-de-energia.htm>

Gaseificação do bagaço de cana
<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=usina-gaseificacao-bagaco-cana#.XqnVv6j0lQI>

Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020-
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953407002310?casa_token=YRg73TJhvc8AAAAA:NeVylxLp6riZG16K6HU13s1ni1p3TEwP4HRODwK9ZkjLC1qLI8LHXIZVoAia_bixIkX86Swk4Q

HERMANN, Wes; SIMON, A.J. Global exergy flux, reservoirs, and destruction. Palo Alto: Stanford

University, 2007. Disponível em:
<https://gcep.stanford.edu/pdfs/GCEP_Exergy_Poster_web.pdf>.

Acesso em: 06 abr. 2020.

http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Boletim-Anual_2018.pdf

http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Boletim-Anual_2018.pdf

<http://biomassaworld.com.br/wp-content/uploads/2016/04/biogs.pdf>

<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

<http://static.sites.sbv.org.br/rvq.sbv.org.br/pdf/v7n1a08.pdf>

lea

[https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20\(TPES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20(TPES)%20by%20source)

Impactos econômicos da ampliação do uso de energia solar residencial em Minas Gerais

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-63512019000200459&lang=pt

- INEE-

http://www.inee.org.br/forum_co_geracao.asp?Cat=gd

IPT, Biomassa para produção de energia-

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.ipt.br%2Fdownload.php%3Ffilename%3D703-Biomassa_para_producao_de_energia__Colloquium_SAEBrasil_Energia_Verde.pdf&psig=AOvVaw0TI0rPrV6N8RjldjikpYGI&ust=1588275138899000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjhxqFwoTCLCS642wjukCFQAAAAAdAAAAABAP

Itaipu- site oficial

<https://www.itaipu.gov.br/>

MATRIZ ENERGÉTICA

<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

MEDIÇÃO DO RENDIMENTO GLOBAL DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO UTILIZANDO MÓDULOS DE 32 CÉLULAS - Rafael Amaral Shayani
- Dissertação de Mestrado, 2.006 UNB

MMA-

<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario?tmpl=component&print=1>

MÜLLER, A.C., 1995. Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento. São Paulo, Makron Books.

O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2017000601082&lang=pt

PERGUNTAS FREQUENTES Itaipu

<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/perguntas-frequentes>

POTENCIAL ENERGÉTICO DE COMBUSTÍVEIS FLORESTAIS EM CULTIVOS DE *Pinus elliottii* NO SUL DO BRASIL

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-50982018000401640&lang=pt

Potencial Energético do Maranhão: Energias Oceânicas

<https://seme.ma.gov.br/files/2016/11/Energias-de-Oce%C3%A2nicas-nov2016.pdf>

POTENCIALIDADE DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA GEOTÉRMICA NO BRASIL – UMA REVISÃO DE LITERATURA

<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/download/75194/78742/>

Proposta de critérios norteadores e requisitos mínimos para licenciamento ambiental de usinas fotovoltaicas no Brasil

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522020000200333&lang=pt

Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde-
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-37132004000200015&script=sci_arttext

RELATÓRIO ANUAL ITAIPU BINACIONAL

https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/u26/RELATORIO%20ITAIPU%202017_27abril.pdf

Revista Brasileira de Energias Renováveis- Análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil

https://www.researchgate.net/profile/Ivan_Santos9/publication/306335420_Analise_comparativa_de_custos_e_tarifas_de_energias_renovaveis_no_Brasil/links/57b8874d08ae14f440bb4aca/Analise-comparativa-de-custos-e-tarifas-de-energias-renovaveis-no-Brasil.pdf

SCHEER, H. (2002). Economia solar global. CEPEL, Rio de Janeiro.

SEBRAE O que são florestas energéticas-
<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-sao-florestas-energeticas.50a3438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>

Timane, Hermenegildo Augusto. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO LIGADO À REDE PÚBLICA, 2010. Disponível em: https://energypedia.info/images/5/55/PT_SISTEMA_FOTOVOLTAICO_LIGADO_Timane.pdf Acessado em 29 maio 2020

University, 2007. Disponível em:
<https://gcep.stanford.edu/pdfs/GCEP_Exergy_Poster_web.pdf>.

Usina Fotovoltaica Jaíba Solar - Planejamento e Engenharia - Teixeira Gráfica e Editora LTDA, 2017

viabilidade energia eólica

https://ecen.com/eee83/eee83p/viabilidade_energia_eolica.htm

Vista do ANÁLISE COMPARATIVA DAS FONTES DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA, HIDRELÉTRICA E TERMELÉTRICA, COM LEVANTAMENTO DE CUSTOS AMBIENTAIS

<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/527/527>

World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability