

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

CAROLINA CARRIJO COSTA

EXPANSÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA E VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE  
GERAÇÃO DISTRIBUIDA BASEADA EM FONTES RENOVÁVEIS

UBERLÂNDIA - MG  
2020  
CAROLINA CARRIJO COSTA

# EXPANSÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA E VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUIDA BASEADA EM FONTES RENOVÁVEIS

Trabalho de conclusão de curso, apresentado a Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Garrefa

UBERLÂNDIA – MG  
2020  
CAROLINA CARRIJO COSTA

# EXPANSÃO ENERGÉTICA BRASILEIRA E VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUIDA BASEADA EM FONTES RENOVÁVEIS

Trabalho de conclusão de curso, apresentado a Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Uberlândia, 2020

Banca Examinadora:

---

Nome – Titulação (sigla da instituição)

---

Nome – Titulação (sigla da instituição)

---

Nome – Titulação (sigla da instituição)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais e demais familiares por me incentivarem, desde sempre, no caminho da busca pelo conhecimento e por me proporcionarem a oportunidade de cursar essa graduação.

Aos amigos, que estiveram sempre do meu lado, me apoiando nos melhores e piores momentos, em questões acadêmicas e pessoais, sempre com muita dedicação. Em especial, agradeço aos colegas da panela da 10<sup>a</sup> turma, que se tornaram minha segunda família quando estava longe da minha.

A todos os professores e demais colaboradores da graduação, expresso meu agradecimento e admiração. Em especial ao professor Fernando Garrefa, que mesmo pertencendo ao corpo docente de outro curso acreditou no meu projeto e prestou toda a assistência necessária para conclusão deste com muita dedicação e excelência. Ao professor Lucas Carvalho, que me orientou em grande parte da graduação e apresentou, com tamanha presteza, a área acadêmica, carreira qual pretendo seguir. À professora Samara Carbone, que sempre abraçou com tanto ânimo as questões da graduação, sendo motivação para mim e tantos outros alunos da Engenharia Ambiental.

A vocês que foram tão essenciais para conclusão dessa etapa, meu muito obrigada.

## RESUMO

A energia é um setor central para o funcionamento de um país e a demanda por esta tem aumentado a cada ano pelo aumento da população e suas necessidades. O programa de expansão energética brasileiro (PNE) se baseia na geração hidrelétrica e prevê a utilização de praticamente todo potencial, inclusive o situado em biomas sensíveis, até 2030. Exaurida essa fonte, o PNE parte para gerações termelétrica e nuclear. As grandes plantas energéticas são, em geral, empreendimentos de grande impacto ambiental. As hidrelétricas geram impactos como grande perda de área florestal, deslocamento de comunidades tradicionais, desequilíbrio das relações ecológicas, mudanças na qualidade da água e emissão de gases estufa. As termelétricas, por sua vez, emitem efluentes gasosos com grandes quantidades de gases estufa, particulados e metais pesados que prejudicam a qualidade ambiental e a saúde humana. As plantas nucleares possuem impactos nas fases de mineração do urânio e disposição de resíduos radioativos de fim de cadeia, além de também alterarem as características dos corpos d'água e causarem desequilíbrio na biota. A partir dessa análise, o trabalho explora as possibilidades da expansão energética baseada em microgeração distribuída (GD) através, principalmente, da implantação de painéis solares em residências e comércios. Tal sistema se mostrou altamente aplicável no país devido ao grande potencial fotovoltaico, à facilidade de instalação, aos baixos impactos ambientais e à possibilidade de evitar não só as gerações em grande escala, mas também a onerosa distribuição de energia de forma convencional, considerando a distância das centrais geradoras e consumidoras. O payback do sistema é de 5 a 9 anos, a depender do consumo, o que é interessante visto que as placas podem durar até 30 anos. A geração solar pode ser associada a outras fontes de microgeração como, por exemplo, a eólica, ou dotada de um sistema de baterias para que a edificação em questão fosse completamente independente. No entanto, caso a residência seja ligada à rede, a própria RN 482/2012 da ANEEL possibilita um sistema de empréstimo gratuito de energia que supriria a demanda noturna. Esse impasse também poderia ser solucionado com investimentos por parte dos setores público e privado e com o auxílio das concessionárias na adoção de redes inteligentes, visando a absorção da produção distribuição estratégica desta. Apesar disso, pode-se dizer que a GD é uma boa estratégia de transição que permite a inserção gradual de energias mais limpas no sistema principalmente se associada ao aumento da utilização de veículos elétricos, que podem também ser abastecidos pela microgeração, de forma a facilitar a mudança da frota pela facilidade de abastecimento -que diminuiria a demanda pela implementação de grandes infraestruturas- e viabilidade econômica.

Palavras-chave: Geração de energia, Geração distribuída de energia, Geração limpa de energia, Sustentabilidade, Energia solar, Fotovoltaica

## ABSTRACT

Energy is a central sector for a country's operation and the demand for it has increased each year because of the growing population and its needs. The Brazilian expansion program (PNE) is based on hydroelectric generation and predict the use of virtually all potential, including those located in sensitive biomes, until 2030. Finished this source, PNE explores thermoelectric and nuclear generations. Large energy plants are, in general, projects with great environmental impact. Hydroelectric dams generate impacts such as large loss of forest area, displacement of traditional communities, imbalance of ecological relations, changes in water quality and greenhouse gases emission. Thermoelectric plants emit gaseous effluents with large amounts of greenhouse gases, particulates and heavy metals that harm environmental quality and human health. Nuclear plants have impacts on uranium mining and end-of-chain radioactive waste disposal phases, as well as altering the characteristics of water bodies and causing imbalance in the biota. From this analysis, the work verified the feasibility of the energy expansion based on distributed microgeneration (GD) through the deployment of solar panels in homes and businesses. This system proved highly applicable in the country due to the great Brazilian photovoltaic potential, the easy installation, the low environmental impacts and the possibility of avoiding not only large-scale generations, but also the costly distribution of energy in a conventional manner, considering the distance from generating plants and consumers. The system's payback is 5-9 years, depending on the consumption, what makes it a interesting possibility considering that it can last up to 30 years. Solar generation would need to be combined with other sources of microgeneration such as wind power or equipped with a battery system for the building in question to be completely independent. However, if the residence is connected to the grid, ANEEL's RN 482/2012 itself allows a free energy loan system that would supply night demand. This impasse could also be solved with investments by the public and private sectors and with the assistance of the concessionaires in the adoption of smart grids, aiming at the absorption of the production and its strategic distribution. Nevertheless, it can be said that GD is a good transition strategy that allows the gradual insertion of cleaner energies into the current system, especially if associated with the increased use of electric vehicles, which can also be supplied by microgeneration, in order to facilitating fleet change Nevertheless, it can be said that GD is a good transition strategy that allows the gradual insertion of cleaner energies into the current system, especially

if associated with the increased use of electric vehicles, which can also be supplied by microgeneration, in order to facilitating fleet change through ease of supply - which would ease the pressure to implement large infrastructure - and economic viability.

Keywords: Energy generation, Decentralized energy generation, Clean energy generation, sustainability, Solar energy, Photovoltaic



## **Sumário**

1	Introdução .....	6
1.1	Demanda .....	6
1.2	Consumo setorial .....	7
1.3	Projeção da exploração das fontes .....	9
2	Proposta .....	20
3	Iniciativas .....	21
3.1	Residências e Comércio .....	21
3.2	Mobilidade.....	25
4	Análise de Viabilidade: Caso brasileiro .....	29
5	Conclusão .....	48
6	Referências .....	49

## **1 Introdução**

A energia elétrica é um recurso indispensável para a vida moderna e a sociedade evoluiu de forma a estabelecer uma relação de dependência com o suprimento desta. O consumo de energia aumenta a cada dia não só pelo crescimento populacional em si, mas também pelo aumento das necessidades energéticas dos indivíduos e organizações.

O suprimento energético é um pilar essencial no funcionamento de um país, o que faz com que este deva ser planejado de forma estratégica, baseando-se nas principais fontes disponíveis, dependência externa e impactos ambientais, econômicos e sociais, de forma a visar um atendimento sustentável da demanda da população (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007, 2018a).

Pensado nisso, o objetivo do trabalho é analisar as estratégias adotadas na expansão do setor energético brasileiro e verificar a viabilidade de que esta seja baseada na descentralização das fontes, substituindo progressivamente plantas concentradas pela geração distribuída (GD). As análises foram feitas com base na literatura científica documentada e nos dados governamentais de consumo e produção de energia. A sugestão do mecanismo de produção foi feita com base em experiências de sucesso no exterior e devida adequação ao caso brasileiro.

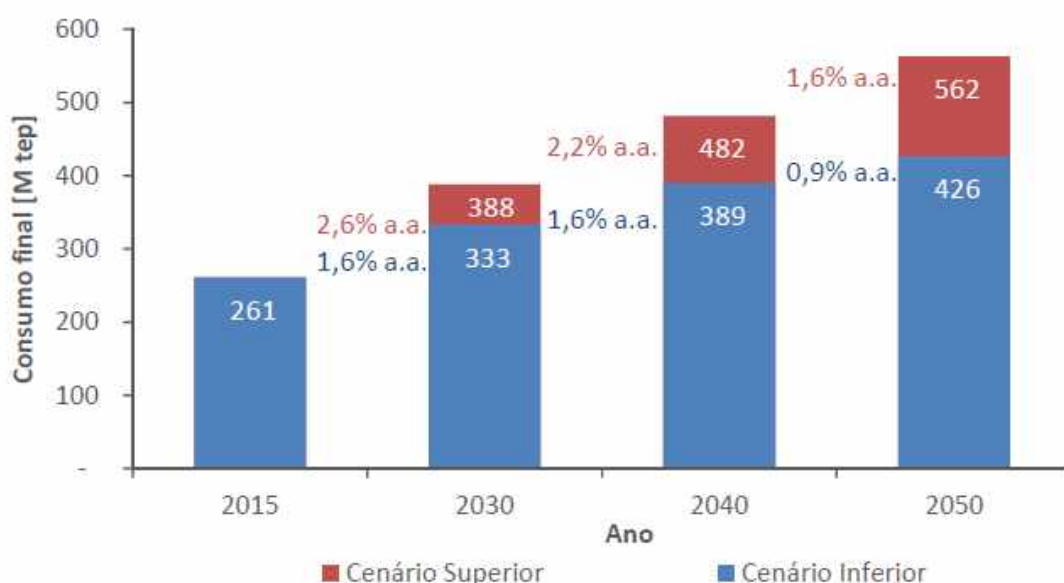
### **1.1 Demanda**

A demanda energética de um país é uma estimativa complexa que leva em consideração modelagens específicas por setor. Tais estimativas englobam estudos de crescimento setoriais, tecnologias para aumento da eficiência energética, políticas públicas, estudos econômicos e projeções populacionais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018a).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) a média do crescimento da demanda brasileira pode variar de 1,4% a.a. a 2,2% a.a., dependendo

do crescimento econômico do país. Estima-se que o pico do crescimento da demanda seja no ano de 2030, quando a expansão industrial atingirá seu auge. A partir desse período, espera-se que as políticas públicas de incentivo ao aumento da eficiência energética desacelerem o crescimento da demanda, mas, mesmo assim, a projeção superior mostra que esta dobraria no ano 2050 (Figura 1).

Figura 1: Evolução do consumo energético por cenário em tonelada equivalente de petróleo (uma tep corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão)



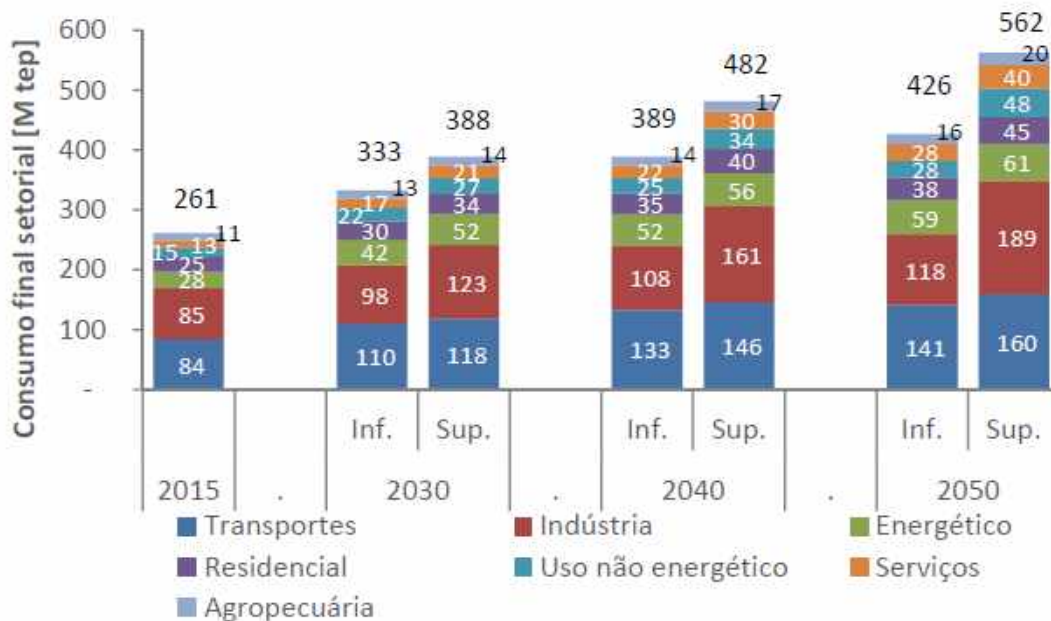
Fonte: Cenários de Demanda para o PNE 2050, Empresa de Pesquisa Energética, 12/2018

## 1.2 Consumo setorial

A Figura 2 mostra o consumo energético setorial até o ano de 2050. Naturalmente, os setores indústria e transporte exercem maior pressão na demanda energética, mas é interessante notar que o terceiro setor que mais consome energia é o próprio setor energético, que inclui o consumo de energia em centros de transformação, em processos de extração, na transferência e no transporte de produtos energéticos, em outras palavras, é a energia gasta para gerar energia (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018a). Esse gasto relativo apenas à auto regulação do sistema corresponderá a

10,85% de toda a energia gasta no país em 2050, fato que comprova a ineficiência do sistema energético adotado no Brasil.

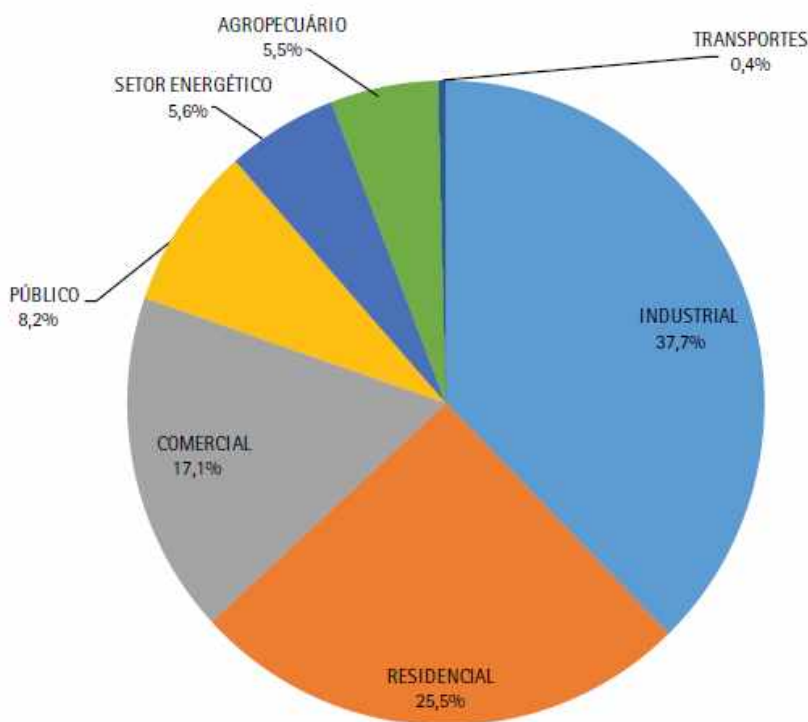
Figura 2: Evolução do consumo energético por setores



Fonte: Cenários de Demanda para o PNE 2050, Empresa de Pesquisa Energética, 2018

Tratando-se apenas do consumo de energia elétrica, como mostra a Figura 3, o cenário muda. Apesar de a indústria ainda estar entre os maiores consumidores, os setores residencial, público e comercial ganham destaque, apontando que mais de 50% da energia elétrica demandada está concentrada nas cidades, número que pode aumentar se considerarmos que muitas vezes as indústrias também estão concentradas na zona urbana ou muito perto desta. Em contrapartida, o setor de transportes que antes ocupava o primeiro lugar foi para último, o que reflete a imaturidade do país no uso de veículos elétricos (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018b).

Figura 3: Participação setorial no consumo de energia elétrica



Fonte: Balanço energético Nacional, Empresa de Pesquisa Energética, 2018

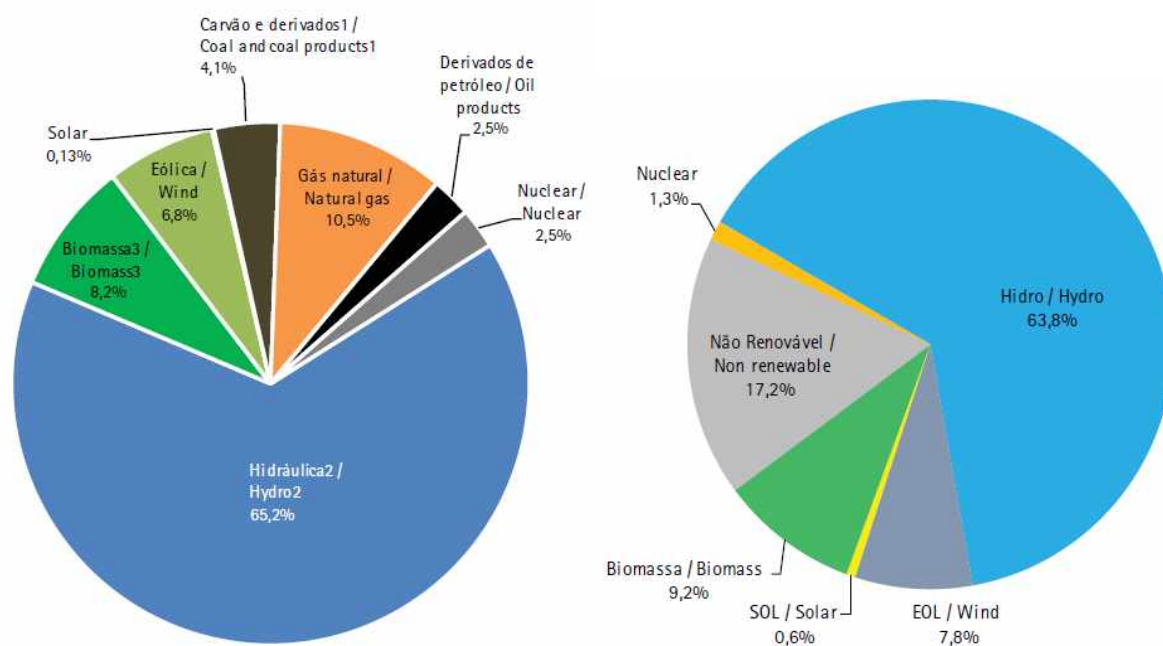
### 1.3 Projeção da exploração das fontes

Em 2017 produziu-se 588,0 TWh de energia no Brasil, sendo 83,5% produzida por centrais elétricas públicas e apenas 16,5% gerada por autoprodutores, que são, segundo a ANEEL, pessoas físicas ou jurídicas ou empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo (Aneel,s.d.). A Figura 4 mostra as fontes de oferta energética no Brasil. A geração a partir de fontes não renováveis foi 20,8%, tendo aumentado 1,2% em relação a 2017, no entanto, a maior parte ainda é gerada por fontes renováveis, sendo a hidrelétrica a mais representativa (65,2%) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018b).

É interessante notar que apesar da geração por plantas hidrelétricas representar 65,2% do total produzido, tem-se que a capacidade instalada é 63,8%, ou

seja, 1,4% menor (Figura 4), apontando para uma super utilização dessa fonte. Outra questão que demonstra a necessidade de revisão em nosso sistema é a dependência de outros países. O balanço energético nacional de 2017 apontou que o Brasil ainda importa 13,2% da energia elétrica que consome, soma-se a isso a recente importação de carvão mineral para abastecimento de termelétricas e a dependência em tecnologias como a de enriquecimento de urânio para abastecimento das usinas nucleares do país, o que contrasta com a quantidade de recursos energéticos que o território possui e com o fato de exportarmos parte do nosso petróleo (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018c).

Figura 4: Oferta interna de energia elétrica por fonte x Participação das fontes na capacidade instalada

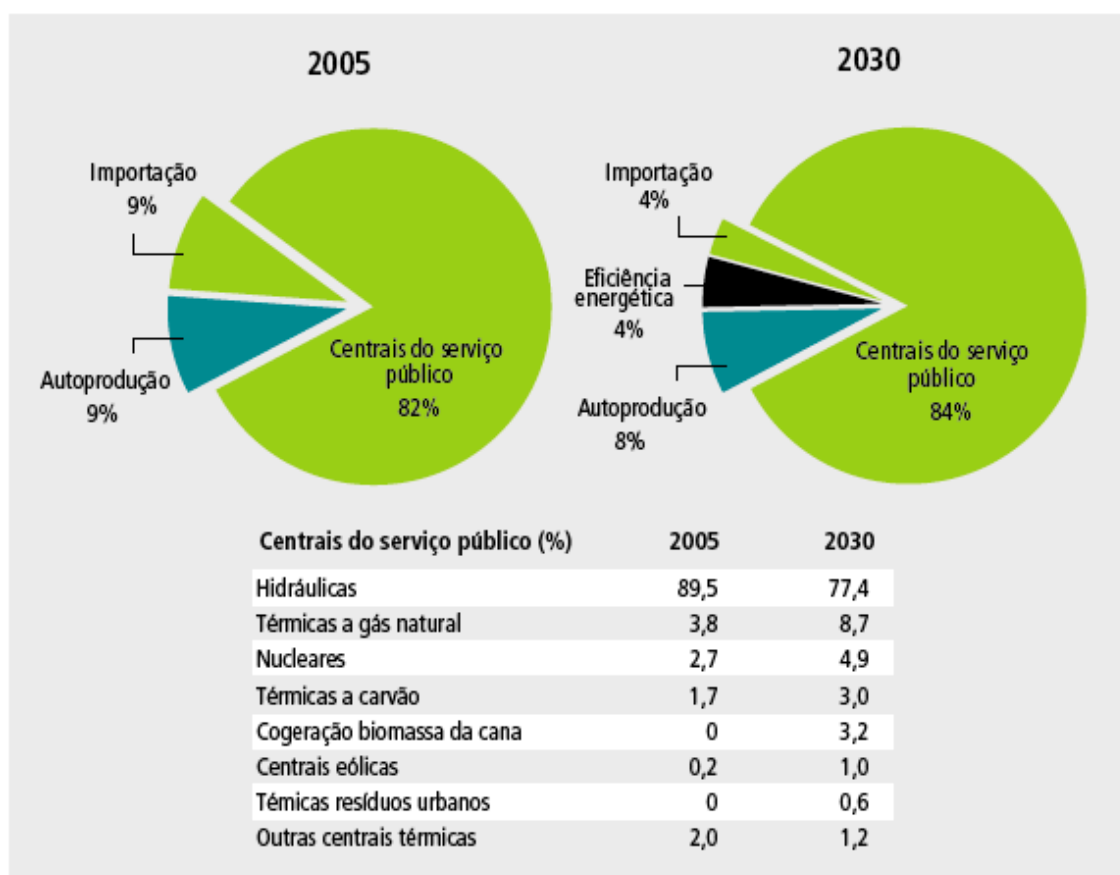


Fonte: Balanço energético Nacional, Empresa de Pesquisa Energética, 2018

Para analisar o futuro energético brasileiro, será utilizado o Plano Nacional de Energia de 2030, apesar de as estimativas de oferta, demanda, tecnologias e custos serem de relatórios parciais do plano de 2050. A

Figura 5 mostra o cenário da estrutura de oferta de eletricidade da época que o plano foi feito e a projeção para 2030.

Figura 5: Evolução da estrutura da oferta de eletricidade até 2030.



Fonte: Plano Nacional de Energia 2030, Empresa de Pesquisa Energética, 2007

Comparando a estrutura em 2005 e a projetada para 2030, pode-se notar que é projetado um aumento de 8,4% na geração através de recursos não renováveis convencionais (6,8% nas térmicas a gás natural e carvão, 2,2% nas nucleares) e a diminuição da autoprodução, em contrapartida, o país ficará menos dependente da importação e da geração hidrelétrica, já que haverá uma queda de 12,1% na representatividade desse tipo de produção. Além disso destacam-se iniciativas como a cogeração a partir da biomassa da cana, fruto das usinas produtoras de álcool, e geração através de resíduos urbanos que são, a princípio, uma boa possibilidade de resolução de dois problemas urbanos. É interessante notar que a energia solar, sendo ela centralizada ou distribuída, não é mencionada na estrutura atual nem na projeção devido a sua baixa representatividade.

### 1.3.1 Projeção da exploração das fontes hidrelétricas

O Brasil possui um potencial hidrelétrico total de 260 GW, sendo que, por questões ambientais, apenas 176 GW são de possível aproveitamento. Considerando o total em operação e construção até 2017 (108 GW), ainda estará disponível para exploração 68 GW, que se encontram, em maior parte (aproximadamente 70%), na região Amazônica. O projeto de expansão em questão implica na utilização de 94% desse potencial aproveitável até 2030 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018c; EPE, 2007).

A Tabela 1 faz um comparativo do potencial hidrelétrico inventariado (potencial total menos potencial e operação e construção, ou seja, o que ainda resta para exploração) por bacia nos anos 2005 e 2017.

Tabela 1: Comparativo do potencial inventariado por bacia em 2005 e 2017

Bacia	Potencial Inventariado em 2005		Potencial Inventariado em 2017	
	GW	(%)	GW	(%)
Amazonas	77	63,3	33	64,3
Paraná	10	8,2	2,9	5,7
Tocantins/Araguaia	11	9,0	7,9	15,4
São Francisco	5	4,1	1,8	3,5
Atlântico Sudeste	9	7,4	1,2	2,3
Uruguai	6	4,9	2,8	5,5
Atlântico Sul	1	0,8	0,3	0,6
Atlântico Leste	1	0,8	0,8	1,6
Paraguai	0,8	0,7	0	0,0
Parnaíba	0,8	0,7	0,6	1,2
Total	122	100,0	51,3	100,0

Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007, 2018c

Não é possível fazer uma comparação precisa porque em 2017 o estudo considera apenas o potencial que atende usinas hidrelétricas de grande porte (UHE), enquanto em 2005 não foi feita essa distinção. Ademais, foram excluídos alguns dados das análises devido às incertezas associadas, além de algumas variáveis como



eficiência e restrições ambientais serem dinâmicas, já que a legislação, interesses políticos e tecnologias mudam rapidamente.

Apesar disso, algumas questões ficam claras, como a diminuição drástica do potencial inventariado, que infere uma alta exploração ao longo desses anos, e a consequente dependência energética das bacias Amazônica e Tocantins-Araguaia, que são as únicas com potencial explorável ainda expressivo. Por esse motivo, os próprios planos sugerem que a construção de novas usinas se dará nessas regiões, mesmo admitindo a delicadeza dos fatores ambientais e sociais, como presença de unidades de conservação e terras de povos tradicionais. FARIA e JARAMILLO, 2017 estimaram a construção de 26 grandes usinas só na bacia Amazônica no período 2013-2028.

A energia hidrelétrica é considerada renovável (ainda que algumas iniciativas se oponham a essa atribuição, como a organização não governamental *International Rivers Network*) e de baixo custo, já que a custosa concepção é amortecida pelo tempo de vida quase ilimitado (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007). A energia renovável tem sua definição ligada à fonte, sendo que esta deve ser proveniente de ciclos naturais, ou seja, são quase ilimitadas ou se renovam em um período viável de tempo. Já o conceito de energia sustentável está ligado, além da capacidade de reposição da fonte, às questões de justiça social, viabilidade econômica e preservação ambiental. É muito comum que esses conceitos sejam associados automaticamente, mas nem toda energia de fonte renovável é considerada sustentável (FAPESP, 2007; PACHECO, 2006).

A viabilidade de uma usina hidrelétrica depende não só de fatores biogeofísicos, como clima, regime de chuvas, relevo, solo e biomas abrangidos, mas também de aspectos socioeconômicos, como comunidades ribeirinhas, quilombolas e indígenas possivelmente afetadas e custos do projeto (monetários, sociais e ambientais). Alguns dos possíveis impactos causados por uma barragem e seus respectivos estudos estão apontados na Tabela 2.

A construção de uma usina envolve uma série de conflitos de interesse, e, por isso, os estudos ambientais devem ser muito bem elaborados para que a análise atribua os pesos corretos aos vários aspectos envolvidos, de forma que a tomada de decisão seja balanceada entre as vantagens e desvantagens nos vários âmbitos.

FEARNSIDE, 2001 cita o exemplo de concepção da usina de Tucuruí, onde os benefícios atendiam muito bem as expectativas de companhias multinacionais em detrimento dos interesses nacionais e principalmente locais. O mesmo autor relatou em 2014 que o estudo de impacto ambiental (EIA) do barramento do Rio Madeira minimizou a importância dos impactos negativos e teve sua tomada de decisão feita antes mesmo da avaliação destes por questões políticas.

Os impactos negativos dos barramentos para construção de usinas são diversos e relatados em uma grande gama de artigos. Os mais comuns são perda de área florestal e conseqüentemente da diversidade da fauna e flora (assim como o impedimento do fluxo migratório destes), desequilíbrio das relações bióticas, mudança nos ciclos biogeoquímicos com possível contaminação por metais, mudança na composição e fluxo de sedimentos, emissão de gases estufa (algumas vezes maiores que termoelétricas), mudanças nos regimes hidrológicos, conflitos no uso da água e solo, desapropriação de áreas pertencentes às comunidades indígenas e ribeirinhas, efeito inchaço em cidades devido ao grande fluxo de pessoas sem prévia preparação e diminuição na produtividade econômica dependente dos rios ou áreas que serão alagadas como pesca e agropecuária (AURELIO et al., 2006; FARIA et al., 2015; FEARNSIDE, 2001; FRIEDL; WÜEST, 2002; SOITO; FREITAS, 2011; CRUZ et al., 2016; TILT; BRAUN; HE, 2009).

Tabela 2: Possíveis impactos negativos causados por uma hidrelétrica

Estudo	Conflitos no uso da água e solo	Desequilíbrio nas relações ecológicas	Efeito inchaço em cidades/ Desordenamento urbano	Emissão de gases estufa	Perturbação em comunidades tradicionais	Impacto negativo na economia local	Impedimento de migração de peixes	Má gestão da energia produzida	Mudança na qualidade da água/ exposição de metais pesados	Mudança no regime de inundação e fluxo de sedimentos	Perda de biodiversidade	Perda/estímulo à perda de área florestal
AURELIO et al., 2006				X								
CRUZ et al., 2016		X							X	X		
FARIA et al., 2015				X								
Fearnside, 2001		X		X	X		X		X	X		X
Fearnside, 2014		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
FRIEDL; WÜEST, 2002		X							X	X		X
OLAVO et al., 2016		X							X	X		
SOITO; FREITAS, 2011	X	X	X	X	X	X		X			X	X
TILT; BRAUN; HE, 2009	X				X	X						

Apesar disso, o Plano Nacional de Energia de 2030 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007) afirma que não só é possível, como já existem projetos que integram empreendimento, inclusão social e preservação do meio. Ainda segundo a organização, muitas vezes tais empreendimentos possuem entornos mais preservados do que outras áreas da região graças a programas de salvamento da fauna, flora e sítios arqueológicos, além de terem os centros urbanos mais desenvolvidos pela geração de empregos.

A Bacia Amazônica possui a maior área de drenagem do mundo e se encontra coberta por áreas sob proteção legal e de grande importância ambiental como Terras Indígenas e Unidades de Conservação. Dado o rumo da expansão hidrelétrica, esses impactos podem ser maximizados pelo fato de se localizarem em um bioma considerado hotspot da biodiversidade (LEONARDO; AURÉLIO; FREITAS, 2011; NORMAN MYERS, RUSSELL A. MITTERMEIER, CRISTINA G. MITTERMEIER, GUSTAVO A. B. DA FONSECA, 2000). Outro fator que pode inviabilizar a produção energética nesses locais é a distância destes em relação aos grandes centros de consumo, que são priorizados enquanto as áreas locais (onde os impactos são sofridos) são negligenciadas, o que implica em enormes linhas de transmissão que invadem áreas de preservação e encarecem os projetos. Além disso, existe uma forte sazonalidade nos rios Amazônicos, o que faz com que a produção seja comprometida em meses secos e anos de El Niño, principalmente se adotada a tecnologia de usina a fio d'água, que é menos prejudicial do ponto de vista ambiental (SOITO et al, 2011; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007).

Apesar disso, em termos de expansão energética tradicional, é difícil dizer que o país deve abrir mão da fonte hidrelétrica considerando todas suas vantagens e disponibilidade de recursos, mesmo que esse tipo de exploração combinada às boas práticas de proteção socioambiental seja inegavelmente um desafio. Além disso, a diversidade de fontes é importante para a segurança na geração de energia da mesma forma que investir somente ou pesadamente em hidrelétrica não é seguro frente a imprevistos. Deve-se levar em conta também que existe uma demanda a ser suprida e que excluir o uso desse potencial significa obrigatoriamente substituí-lo por outras fontes não necessariamente

mais competitivas nem melhores no ponto de vista socioambiental (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007).

Caso a expansão hidrelétrica seja descartada nos veremos dependentes de um programa termelétrico que também possui implicações ambientais, de custo e de dependência externa (por tecnologias, matéria prima por energia em si). No entanto, mesmo que expansão hidrelétrica seja adotada em sua totalidade ainda teríamos de investir na energia térmica, uma vez que a projeção de demanda energética para 2030 é de 225 GW e ainda restariam 61 GW a serem supridos por fontes não hidráulicas, sendo esse suprimento majoritariamente por termoelétricas (48 GW) segundo o plano governamental (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007).

### **1.3.2 Projeção da exploração das fontes termoelétricas**

A geração termelétrica também possui, sabidamente, muitos impactos ambientais. AL et al., 2012, DEMIRAK; YILMAZ, 2006 e WU et al., 2013 mostram que as plantas termelétricas a carvão são fontes de metais pesados, que acabam por contaminar solos e ambientes aquáticos, onde os metais podem bioacumular em organismos. CARDU e BAICA, 1999 relataram a contribuição do CO<sub>2</sub> e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) liberados pela combustão como gases estufa, o efeito da chuva ácida causado pela emissão de SO<sub>2</sub>, além dos problemas de saúde em humanos e animais causados diretamente pela emissão de óxidos de enxofre e nitrogênio (SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>), além de CO, CO<sub>2</sub> e material particulado que resultam da combustão incompleta de qualquer matéria prima. GUTTIKUNDA; JAWAHAR, 2014 estimaram que somente na Índia a emissão de material particulado causou diretamente 115 mil casos de mortalidade prematura, 10 mil casos de mortalidade infantil, além de mais de 810 milhões de casos de problemas respiratórios.

### 1.3.3 Projeção da exploração das fontes nucleares

Estima-se que a energia nuclear será a terceira fonte mais utilizada para suprir a demanda brasileira em 2030 (

Figura 5). Tal produção possui benefícios consideráveis como baixas emissões de NOx e SOx, gases estufa e particulados, além da alta densidade energética: enquanto 1 kg de carvão produz aproximadamente 3 kWh de energia, a mesma quantidade de urânio produz 50.000 kWh, que implica na baixa demanda por área para a planta em si. Por outro lado, a fase de mineração exige enormes áreas, já que o urânio tem uma concentração de aproximadamente 0,15% no ambiente, o que resulta também em grandes quantidades de resíduos e efluentes radioativos e com metais pesados que podem contaminar solos, aquíferos, a biota aquática e os residentes do local.

A energia nuclear também é conhecida pela a produção de resíduos de fim de cadeia perigosos e radioativos que possuem descarte trabalhoso e oneroso ao meio ambiente. A grande dependência de água para obtenção da matéria prima e na própria geração de energia durante o resfriamento da planta é outro problema porque cria áreas de conflito com os outros setores que também dependem desse bem. As plantas nucleares são construídas perto de corpos d'água e interferem drasticamente no ciclo e qualidade destes. Isso acontece porque a água requerida deve atender requisitos específicos, ou seja, já sofre alterações (como a dessalinização) na entrada do processo e depois volta ao ambiente com características muito diferentes como presença de sais, metais pesados e alta temperatura, o que espanta a biota local e gera problemas de qualidade (BEHESHTI, 2011; RASHAD; HAMMAD, 2000).

Apesar da energia nuclear ser a que historicamente causou menos acidentes e menos mortes humanas diretas, como mostra o estudo de RASHAD e HAMMAD, 2000 (Tabela 3), tais acidentes são muito danosos, podem atingir áreas muito grandes e com consequências duradouras. Em outras palavras, o número de acidentes diretos não representa o tamanho das consequências indiretas que estes trouxeram aos locais afetados (IAEA, 2011). Outro problema de investir nessa fonte é o fato de o enriquecimento de urânio ser feito

majoritariamente em outros países devido à imaturidade do Brasil no ramo. Dessa forma, o fato de a expansão energética caminhar para esse rumo pode ser considerado pouco estratégico, já que faria do Brasil um país dependente do exterior em um pilar crucial para o funcionamento de uma nação (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018c; RASHAD; HAMMAD, 2000).

Tabela 3: Comparativo entre as fontes de energia e os acidentes na história

	Eventos	Fatalidades	Média de fatalidades por GW por ano
Carvão	133	6418	0,32
Petróleo	295	10273	0,36
Gás natural	88	1200	0,09
Gás propano líquido	77	2292	3,1
Água	13	4015	0,8
Nuclear	1	31	0,01

Fonte: Adaptado de RASHAD; HAMMAD, 2000

O acidente nuclear de Fukushima em 2011 estabeleceu uma discussão mundial sobre a matriz energética dos países e a importância da inclusão de fontes renováveis nesta. O próprio Japão, na época, passava por reformas liberalizantes no setor energético que não contemplavam diretrizes de incentivo a esse tipo de fontes, o que mudou depois do ocorrido (RENEWABLE ENERGY INSTITUTE, 2016). Bélgica e Suíça suspenderam os avanços na expansão de parques nucleares e determinaram o encerramento da geração de energia nuclear até 2025 e 2034, respectivamente (ELETROBRÁS, 2011). A Alemanha que já vinha com uma nova corrente de pensamento que incentivava o uso de fontes renováveis mesmo antes mesmo do acidente, instituiu um plano que cancelou a expansão dos parques nucleares e visa acabar com esse tipo de geração até 2022 (CARVALHO e SAUER, 2011; WIESMANN, 2011). Em contrapartida, o Reino Unido, Estados Unidos, China, Rússia tiveram seus planos pouco afetados ou afetados por motivos externos a Fukushima. Na maioria dos casos ouve de fato uma desaceleração na expansão dos programas mas estes acabaram por acontecer e serem ampliados.

A Associação Brasileira de Energia Nuclear afirma que não podemos comparar o Brasil à países desenvolvidos, já que esses já estão na etapa de buscar

sustentabilidade, uma vez que têm consumo energético razoavelmente estabilizado. A instituição também defende a retomada na construção de Angra III e planejamento de outras plantas, já que a energia nuclear é uma boa opção para o Brasil porque ajudaria na estabilização e descentralização de nossa matriz energética (ABEN, s. d.).

Portanto, conclui-se que as grandes plantas de geração viáveis para a expansão brasileira, mesmo que baseadas em matérias primas renováveis, são muito custosas aos setores financeiro, logístico, ambiental e social. Por outro lado, a sociedade moderna demanda cada dia maiores quantidades de energia elétrica. Para resolver esse impasse, o trabalho analisa a viabilidade de um novo modelo de crescimento energético baseado em experiências estrangeiras, bem como sua aplicabilidade no Brasil, visando suprir a crescente demanda e, ao mesmo tempo, minimizar os impactos decorrentes da produção de energia.

## **2 Proposta**

O capítulo anterior deixa aparente a concentração do sistema energético brasileiro em grandes plantas energéticas, localizadas em determinados pontos do território, limitadas a algumas matérias primas específicas. Como visto, a construção e operação desses grandes complexos, independentemente da fonte, é muitas vezes onerosa nos âmbitos ambiental, social e econômico, além de ser deficiente no quesito segurança energética.

Pensando nisso, propõe-se a microgeração distribuída (GD) como forma de suprimento da crescente demanda brasileira. O conceito de microgeração distribuída, segundo a Resolução Normativa 482 da ANEEL, consiste em pequenas centrais geradoras de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.



A proposta específica do trabalho é análise de viabilidade de abastecimento de edificações residenciais e comerciais, com possível produção de excedente para suprimento de veículos elétricos através desse tipo de geração, com base nas experiências consolidadas.

### **3 Iniciativas**

#### **3.1 Residências e Comércio**

Como mostra a

Figura 3, 43% da energia gerada pelo Brasil é consumida pelos setores residencial (25,5%) e comercial (17,1%). Investir na autossuficiência desses setores é uma boa estratégia uma vez que existem tecnologias consolidadas para isso e casos concretos do sucesso ao redor do mundo, ou seja, seria uma maneira relativamente simples de economizar quase metade de toda energia gerada por grandes fontes.

O conceito de ZEB (Zero Energy Buildings) foi definido por PLESS et al., 2006 como edifícios residenciais ou comerciais com necessidades energéticas bastante reduzidas através da eficiência energética ao passo que estas possam ser supridas por fontes localmente disponíveis, baratas, não poluentes e renováveis. Essas construções podem estar ligadas ou não a uma rede, mas essa ligação se faz interessante nos casos em que se produz mais ou menos energia do que a demandada pela unidade, resultando em um balanço energético nas unidades conectadas que pode suprir a necessidade de um sistema de armazenamento. Os ZEBs ainda podem ser on-site, quando a produção de energia é feita no próprio edifício, ou off-site, quando a energia vem

de outros locais, no entanto, a segunda opção é menos vantajosa já que demanda área que poderia ser utilizada para outros fins e sistemas de transmissão.

Como o próprio conceito diz, um ZEB deve ter suas necessidades energéticas reduzidas ao máximo, no entanto, isso não deve implicar em um ambiente menos confortável do que os demais. Para atingir esse objetivo, investe-se em uma equipe multidisciplinar que deve analisar minuciosamente as condições locais (mapa de ventos, carta solar, altitude, temperatura, entre outras) e projeção detalhada da demanda energética. A junção dessas duas análises permite a criação de projetos eficientes, ou seja, que diminuam a demanda através do design energeticamente eficiente e supra estas com os recursos disponíveis localmente. Existem alguns softwares no mercado que facilitam muito tais análises, projeções de demanda e gerenciamento da distribuição da energia (Domus-Procel Edifica da Eletrobras, por exemplo).

Alguns dos instrumentos mais usados do design energeticamente eficiente são o posicionamento estratégico de aberturas e a escolha correta dos materiais, que resulta em aproveitamento estratégico (de acordo com o propósito do projeto) da luz solar, calor e correntes de ar, e conseqüentemente, em economias com iluminação e regulação da temperatura interna. Os eletrodomésticos que mais gastam em uma casa são o chuveiro, refrigerador e ar condicionado, respectivamente, somando um total de aproximadamente 75% do gasto de uma residência (FEDRIGO; GONÇALVES; LUCAS, 2009). Desses três, o ar condicionado pode ter seu uso muito reduzido com as técnicas de design eficiente mencionadas e o chuveiro pode ter seu consumo zerado se utilizado aquecimento solar de água. Somados os esforços do projeto ao uso de eletroeletrônicos eficientes, tem-se uma redução considerável do consumo energético. (DERU; TORCELLINI; PLESS, 2005; PLESS et al., 2006; TORCELLINI; JUDKOFF; HAYTER, 2002)

O design inteligente pode resultar em economias muito significantes que possibilitam o suprimento das demandas com fontes renováveis, como no caso do Centro de Visitantes do parque Zion (Utah, EUA), em que o projeto estratégico implicou em uma redução de 70% do consumo energético (sem

nenhum acréscimo de custo na construção) e um sistema fotovoltaico de telhado supriu facilmente a demanda. O desafio, portanto, é transformar residências e comércios já construídos nos moldes tradicionais em unidades autossuficientes energeticamente, o que algumas vezes não será possível ou economicamente viável lançando mão das tecnologias de existentes, mas pode reduzir muito a dependência do suprimento governamental.

O regime climatológico das fontes utilizadas também pode dificultar o projeto, no entanto, a Tabela 4 mostra ZEBs de sucesso nos mais variados lugares do mundo, provando que tais situações podem ser contornadas com um bom projeto. O planejamento a longo prazo também se faz necessário, já que existe a possibilidade de alguns sistemas serem inutilizados pela estrutura futura da cidade, como diminuição de ventos e luz solar pela disposição dos prédios (PLESS et al., 2006).

Tabela 4: Casos de ZEBs de sucesso

Construção	Uso	Local	Tecnologia Utilizada	Comentários	Referência
Alpenchic	Residencial	Poing, Alemanha	Painéis solares, gerador eólico, aquecedores de célula de combustível a hidrogênio e design ambiental sustentável	A residência gera energia suficiente para se manter, abastecer um carro elétrico e o excedente esporadicamente gerado é mandado para a rede.	SANTOS, 2016)
Smart Eco House	Residencial	São Paulo, Brasil	Painéis solares, gerador eólico e sistema de aquecimento e resfriamento ecológicos	Os painéis solares ficam ligados à rede de forma que o excedente produzido durante o dia é disponibilizado nesta. O gerador eólico é ligado a baterias que garantem o suprimento de energia durante a noite.	SCHAUER, [s.d.]

reACT	Residencial	Denver, Estados Unidos	Painéis solares + baterias	A casa conta com um software que monitora o comportamento dos moradores para melhorar sua eficiência energética	MOK, 2017
Casa Sustentável Piloto	Residencial	Larvik, Noruega	Painéis solares, energia geotérmica e design ambiental sustentável	A energia gerada pelas duas fonte é suficiente para abastecer a casa e um carro elétrico	MARTINS, 2015
Adam Joseph Lewis Center for Environmental Studies	Comercial (salas de aulas, escritórios, auditório e biblioteca)	Ohio, Estados Unidos	Painéis solares, tecnologias e design de energia eficiente	Os painéis solares localizados no telhado e estacionamento da edificação produzem 110% da energia necessária para atender as demandas do edifício e um sistema de purificação de esgoto	BRAIN, [s.d.]
Zion Visitor Center Complex	Comercial (Centro de visitantes de um parque)	Utah, Estados Unidos	Painéis solares, tecnologias e design de energia eficiente	O desing ecológico e energeticamente eficiente resulta em uma edificação com demandas energéticas 70% menores quando comparado a edificações da mesma categoria	TORCELLINI; JUDKOFF; HAYTER, 2002
DEP Cambria	Comercial (Escritórios)	Ebensburg, Estados Unidos	Energia geotérmica, painéis solares, tecnologias e design de energia eficiente	A construção utiliza energia geotérmica para os sistemas de aquecimento e resfriamento e as outras demandas são supridas por painéis solares	BRAIN, [s.d.]
BigHorn	Comercial (Lojas)	Silverthorne, Estados Unidos	Painéis solares, aquecedores solares, hidrônicos e a gás, tecnologias e design de energia eficiente	O conjunto comercial investe em tecnologias de aproveitamento de energia para gerenciar a temperatura interna, uma vez que se localiza em uma região muito fria	DERU; TORCELLINI; PLESS, 2005

Como visto, as residências ZEB são altamente praticáveis mesmo nas mais diversas condições geográficas. Os edifícios comerciais também devem ser, partindo do pressuposto que, na maioria das vezes, estes possuem menos demandas do que uma residência, no entanto é necessário o estudo caso a caso.

Também deve ser explorada a possibilidade de complexos ZEB. ZUBAIR, 2018 fez um estudo na cidade de Gwadar no Paquistão e comprovou a viabilidade teórica de um sistema residencial baseado em blocos, sendo as residências abastecidas por placas solares de telhado e geradores eólicos convencionais. O bloco seria conectado por uma rede inteligente comandada por um software que permite a melhor distribuição da energia.

### **3.2 Mobilidade**

Como visto no item 3.1, algumas residências e estabelecimentos ZEB conseguem produzir energia excedente para abastecimento de um veículo elétrico. Em um passado muito recente a utilização de um veículo elétrico era sinônimo de falta de praticidade e dificuldade logística, no entanto, boa parte dos veículos já superaram essas barreiras. Um exemplo é um carro da marca Porsche, que consegue 100 km de autonomia com apenas 5 minutos de carga ou 80% da autonomia total, que é de 450 km, em menos de 23 minutos (PAIXÃO, 2019). Existem ainda inúmeras outras marcas automotivas no mercado, como Tesla, Renault, Mini, Volkswagen, Honda, Nissan, Chevrolet, BYD, Solaris e Jac, que oferecem diversas opções de veículos elétricos entre compactos, SUVs, picapes, ônibus e até caminhões. Os preços variam muito de acordo com o modelo, tecnologia e autonomia, sendo que o compacto elétrico mais barato do mercado custa R\$ 119.000,00 com autonomia de 320 km (G1, 2019).

Os veículos elétricos e híbridos já são altamente difundidos em algumas regiões do mundo. Segundo a BNEF, em 2018 a frota elétrica mundial atingiu 5 milhões de veículos, sendo a China - que aumentou o consumo em 61% em relação a 2018 - a maior consumidora do setor. A Europa também possui grande expressão quando se trata do mercado de elétricos. Em março de

2019 na Noruega foram vendidos mais carros elétricos do que convencionais à combustão, comportamento que tende a crescer já que a partir de 2025 só poderão ser vendidos carros elétricos no país. Ainda segundo a organização, em 2040 os veículos elétricos ultrapassarão os convencionais, chegando a 56 milhões no mundo principalmente pela redução drástica no custo, que os fará mais baratos que os veículos predominantes hoje (ORÉFICE; CAVALCANTE, 2019).

Quando se trata de transporte elétrico coletivo, tem-se muitas iniciativas de sucesso no Brasil e no mundo. A região da grande São Paulo, por exemplo, conta com 400 veículos divididos entre tecnologias 100% elétricas e híbridas. Entre os elétricos puros, tem-se os trólebus que utilizam a rede aérea de energia e os veículos a bateria. Já os híbridos funcionam com combustíveis convencionais a base de petróleo e energia, que pode ser fornecida pelo grupo motor-gerador e/ou baterias e/ou rede aérea, o que faz dessa opção mais flexível devido à maior autonomia. Em Luxemburgo, os híbridos são completamente carregados em no máximo 6 minutos ao fim de cada viagem nas estações de carga rápida por plug-in. Tais estações são por acoplamento automático, possuem monitoramento remoto por sistema de nuvem e ainda são universais, ou seja, carregam veículos de qualquer fabricante.

Existem também alguns casos de sucesso que mostram a viabilidade da adoção de veículos 100% elétricos carregados por fontes renováveis, como o eBus em Santa Catarina, que recarrega suas baterias com energia solar gerada nas coberturas do Centro de Pesquisa e Capacitação em Energia Solar da UFSC. O ônibus conta com 200 km de autonomia, que é atingida após 1h de carregamento, além de conseguir rodar até 70 km sem nenhuma recarga graças à tecnologia de aproveitamento dos sistemas de frenagem. O projeto que conta com apenas uma rota gera uma economia de 2 mil reais por mês, o que permite que este não possua tarifa para seus usuários (alunos e servidores da UFSC), dando uma dimensão da redução de gastos que tais projetos podem agregar ao governo (PELEGI, 2019; PORTAL SOLAR, 2017).

Apesar do crescimento dos elétricos ser inegável, nota-se algumas dificuldades técnicas na absorção desse mercado, principalmente quando se

trata da infraestrutura de abastecimento, que abrange desde questões complexas como o aumento da demanda energética, até operacionais, como construção e distribuição de pontos de recarga, potência dos transformadores e grande variedade de plugues. Enquanto alguns países como o Reino Unido possuem a rede de abastecimento suficiente ou subutilizada, a maioria ainda vê essa questão como um desafio ou utiliza de soluções temporárias, como na Suécia, onde uma rede de fast food transformou parte de suas lanchonetes em pontos de recarga devido à grande demanda. Na prática, o fato de o motorista ter que traçar um planejamento de rota e pontos de carregamento contrasta com a liberdade que a alta tecnologia do carro em si fornece ao usuário, no entanto, em cidades pequenas e médias é possível que apenas a recarga feita em casa seja o suficiente para suprir as necessidades diárias do usuário, considerando a grande autonomia dos veículos atuais.

No caso do Brasil a rede de 400 pontos de recarga espalhadas apenas nas grandes cidades não atende a frota nacional, que conta com 3 mil veículos. Tais dados demonstram uma adoção ainda tímida da tendência global apesar da recente inauguração da primeira eletrovia nacional na Rodovia Presidente Dutra, que liga São Paulo ao Rio de Janeiro. Aproveitando dessa demanda, várias empresas e startups traçam planos ambiciosos que visam dobrar o número de estações ainda em 2020 (ABVE, 2018; BOEIRA, 2019; ÉPOCA NEGÓCIOS ONLINE, 2019).

Mesmo que todos esses impasses sejam resolvidos, a migração para a eletricidade pode não ser muito promissora quando se trata de uma cidade abastecida por fontes de energia não renováveis ou de grande impacto ambiental. RICHARDSON, 2013 e SULLIVAN, 2008 mostraram que a emissão de CO<sub>2</sub> em geral é menor para carros elétricos, independente de como a eletricidade que o abastece é produzida (Tabela 5). No entanto, o estudo de WANG, 2010 feito na China, onde a principal fonte de energia elétrica são as termelétricas, tem-se que as emissões de SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> aumentariam significativamente e a emissão de CO<sub>2</sub> se mantém praticamente a mesma quando comparamos a utilização de carros elétricos à de carros movidos a petróleo.

Quando a fonte de energia elétrica é obtida a partir de tecnologias renováveis e pontuais -como proposto nesse trabalho- pode-se prever inúmeros benefícios além da redução a zero das emissões de CO<sub>2</sub>. O principal deles é a grande melhora na qualidade do ar em centros urbanos pela não emissão de compostos danosos à saúde provindos da combustão, o que tem impacto direto na qualidade de vida. Além disso, podemos citar a diminuição da dependência do petróleo, que implica na diminuição da extração e todos seus impactos. Tal modelo de recarga ainda faz com que os veículos elétricos sejam uma importante ferramenta de inserção de energias renováveis no sistema energético atual sem mudanças drásticas de infraestrutura e ainda serviriam, caso carregados de forma estratégica, na regulação do balanço energético pontual, principalmente nos períodos de alto suprimento ou baixa demanda. (HARVEY, 2010)(RICHARDSON, 2013; SULLIVAN, 2008).

Tabela 5: Emissões veiculares de CO<sub>2</sub> por fonte de abastecimento

Veículo	Combustível	Emissão de CO <sub>2</sub> (g/km)	
		Tecnologia atual	Nova tecnologia
Convencional	Gasolina	432	
Híbridos convencionais	Gasolina	296	
Híbridos por plug-in	eletricidade - carvão	274	192
	eletricidade - gás natural	184	119
	eletricidade - óleo combustível	262	
	eletricidade - hidrelétrica	0	

Fonte: Adaptado de SULLIVAN, 2008

Ademais, a característica pontual da geração evitaria um grande desafio da migração para uma frota elétrica que são os problemas de adaptação rede (demanda energética e logística de suprimento). A mudança no sistema de transporte implica em um aumento no consumo de energia elétrica, o que demandaria um aumento na produção e uma grande reorganização logística que seria evitada caso cada edificação produzisse sua própria energia de



abastecimento (GARCÍA-VILLALOBOS et al., 2014; JOA; SOARES; ALMEIDA, 2011; SULLIVAN, 2008).

A pressão exercida por acordos internacionais sobre mudanças climáticas, bem como problemas relacionados à poluição do ar induzem à criação de leis e políticas públicas de incentivo ao uso dos elétricos, resultando cada dia mais em investimentos na tecnologia desse setor, o que reafirma que o futuro da mobilidade aponta para essa vertente.

A situação ainda é mais promissora quando se trata da adoção de eletricidade para veículos de transporte público, o que ampliaria o alcance dos benefícios citados e auxiliaria as cidades no atingimento das metas de redução da emissão de CO<sub>2</sub>, além de ajudar na solução do problema dos congestionamentos. Um exemplo de meta é a prevista para a cidade de São Paulo pela Lei 16.802/2018, que impõe a redução de 50% das emissões de CO<sub>2</sub> de origem fóssil em 10 anos, e 100% em 50 anos, além da diminuição de 95% do MP e NO<sub>x</sub> em 20 anos, que é inegavelmente um desafio que precisa dos elétricos para ser vencido (ABVE, 2018b; BERNARDES, 2017; ELETRA, 2018; FUTURE TRANSPORT, 2018; SÃO PAULO, 2018).

#### **4 Análise de Viabilidade: Caso brasileiro**

O sistema mais consolidado no mundo para a geração distribuída é o fotovoltaico, adotado em diversos países por questões logísticas e de sustentabilidade. É fato que a utilização em massa de painéis fotovoltaicos geraria uma grande quantidade de resíduos, dado que estes devem ser substituídos aproximadamente a cada 30 anos. Além do volume de resíduos gerados, a qualidade destes também é preocupante pela possibilidade de contaminação do ambiente por metais pesados (principalmente cromo e chumbo) e gases ácidos (CORCELLI et al., 2016).

Pensando nisso, já foram estabelecidas políticas de logística reversa e reutilização de componentes desses sistemas, principalmente na Europa, que possui diretivas estabelecendo pelo menos 75% de recuperação e reciclagem

de painéis solares. Ademais, tecnologias de reciclagem e disposição final de resíduos têm sido cada vez mais pesquisadas e viabilizadas pela academia e indústria. CORCELLI et al., 2016 mostraram em seu trabalho diversas técnicas de reciclagem viáveis ambientalmente, energeticamente e economicamente.

Os países com maior capacidade total instalada de energia solar são China (176,1 GW), Estados Unidos (62,2 GW), Japão (56 GW), Alemanha (45 GW) e Índia (32,9 GW), respectivamente. O Brasil, por sua vez, tem posição pouco notável no ranking com apenas 4 GW, o que contrasta com seu grande potencial fotovoltaico, principalmente se comparado aos países citados (

Figura 6, THE WORLD BANK, 2019

Figura 7Figura 8,

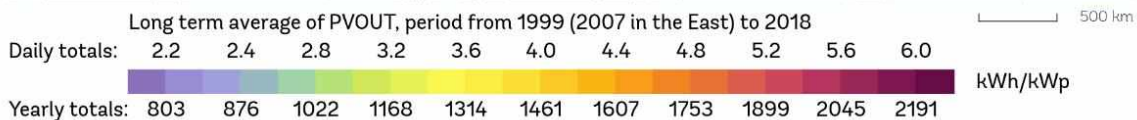
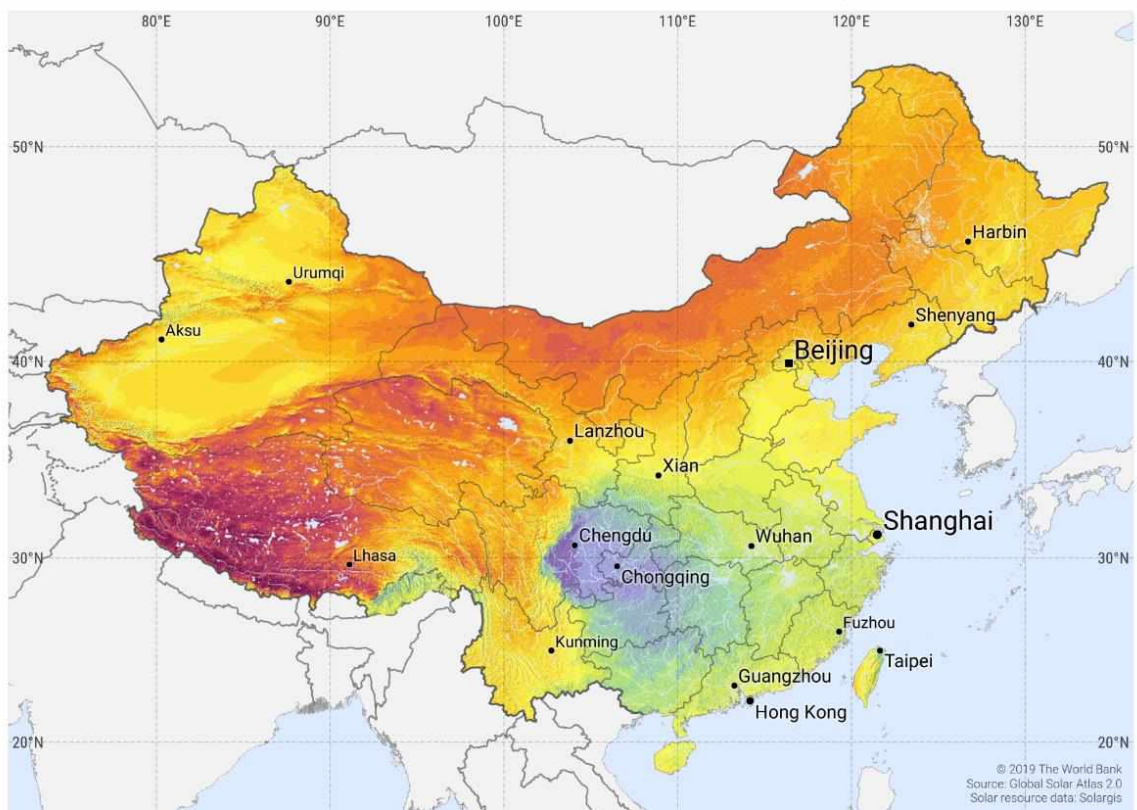
Figura 9Figura 11), que possuem potencial igual ou menor que o brasileiro, sendo alguns bem menores, como o Japão, segundo no ranking. Outro fato interessante é que 2 desses 5 países (Índia e China) são considerados de economia emergente, pertencente ao grupo BRICS, assim como o Brasil. É importante notar que a escala de cores fornecida na referência é diferente em cada imagem, o que faz necessária uma análise mais refinada e impede a análise apenas visual dos potenciais (CORCELLI et al., 2016; IEA PVPS, 2019; P&D ANEEL, ENEREGISA, GESEL, 2018); THE WORLD BANK, 2019)

Figura 6: Potencial fotovoltaico da China

SOLAR RESOURCE MAP

**PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL**

**CHINA**

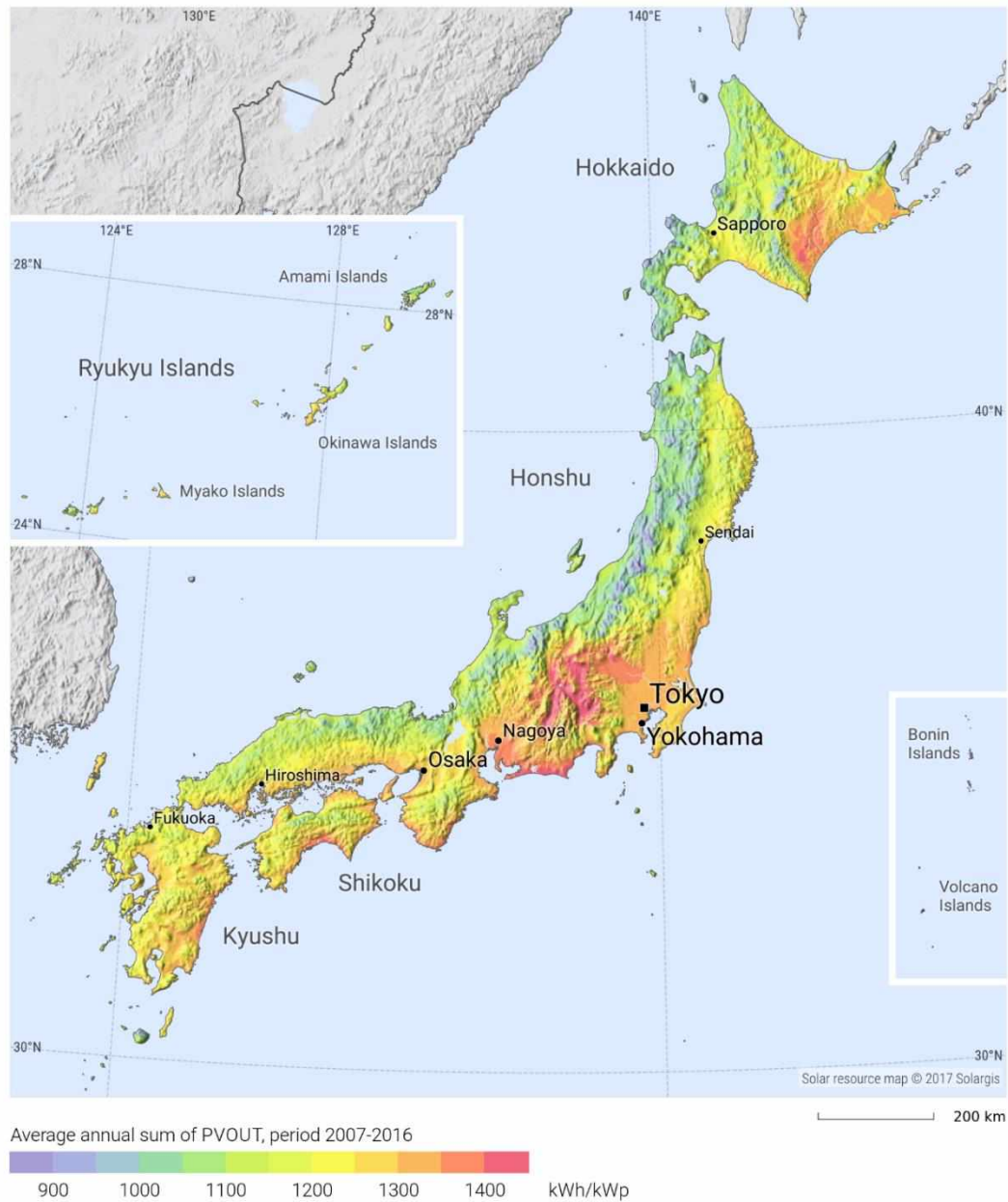


This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

Fonte: THE WORLD BANK, 2019

Figura 7:Potencial fotovoltaico do Japão

## PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL JAPAN

**SOLARGIS**


This map is licensed by Solargis under the Creative Commons Attribution license (CC BY-SA 4.0). You are encouraged to use content of the map to benefit yourself and others in creative ways. For more information, please visit <http://solargis.com/freemaps>.

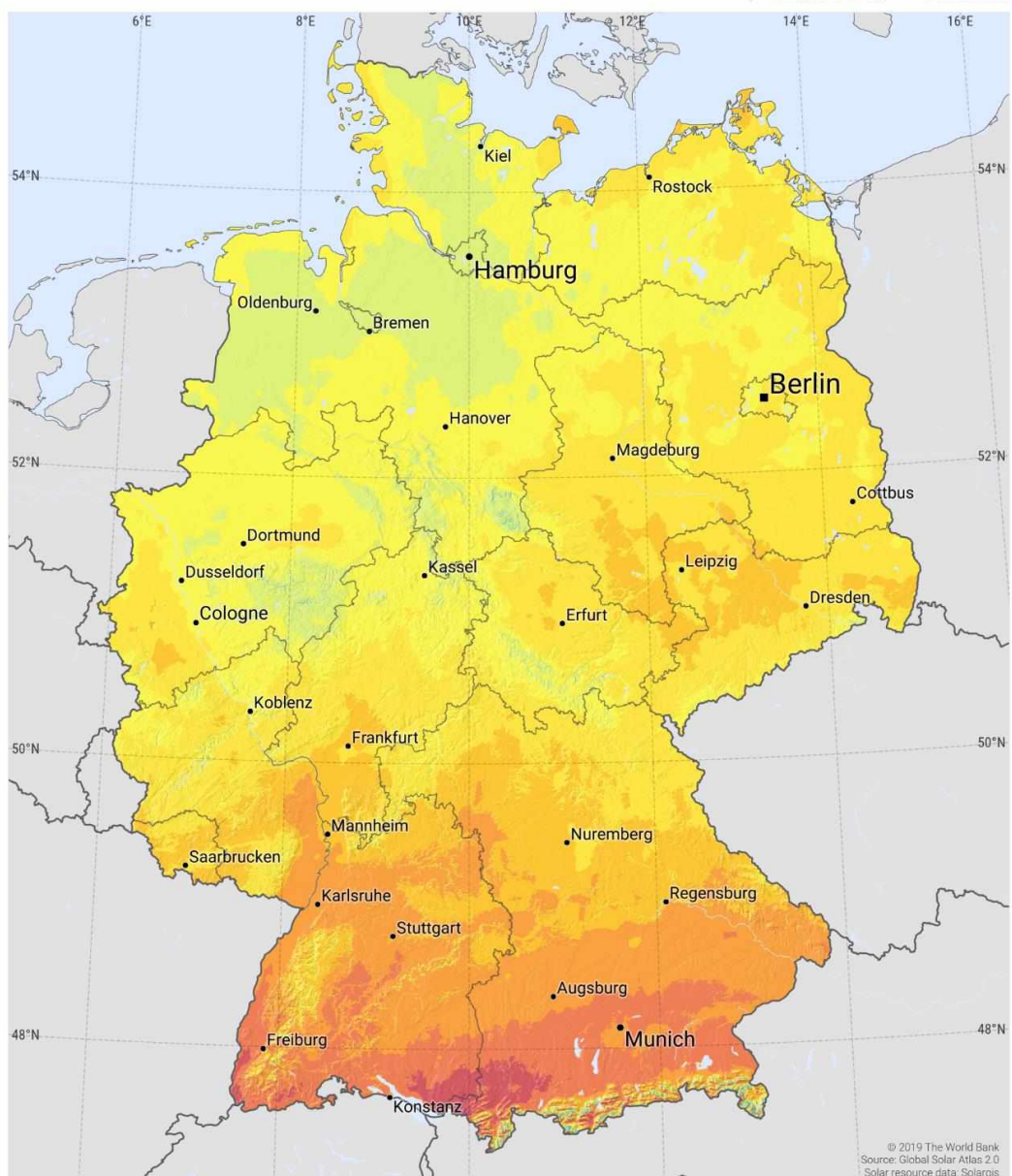
Fonte: THE WORLD BANK, 2019

Figura 8: Potencial fotovoltaico da Alemanha

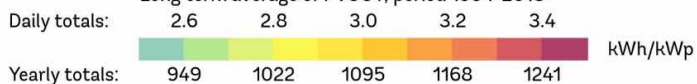
SOLAR RESOURCE MAP

**PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL**

**GERMANY**



Long term average of PVOUT, period 1994-2018



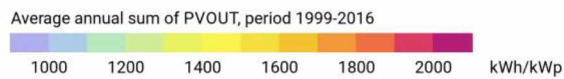
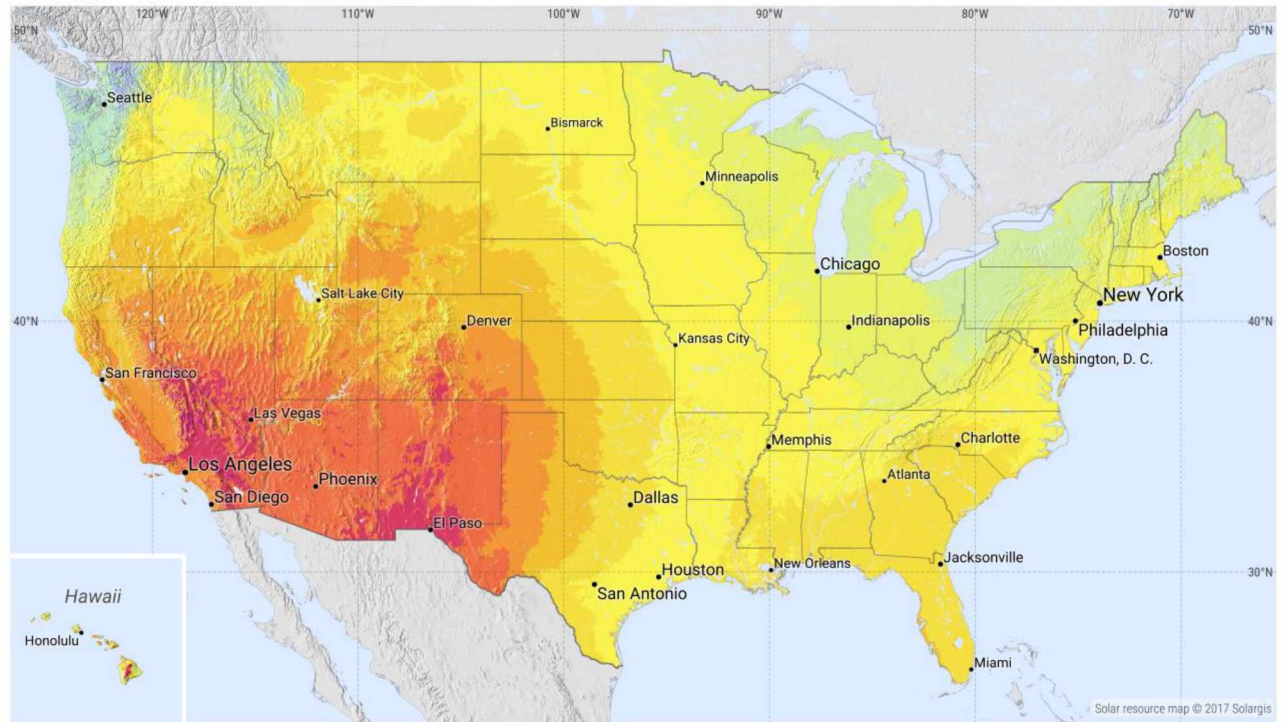
This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>

Fonte: THE WORLD BANK, 2019

Figura 9:Potencial fotovoltaico dos Estados Unidos



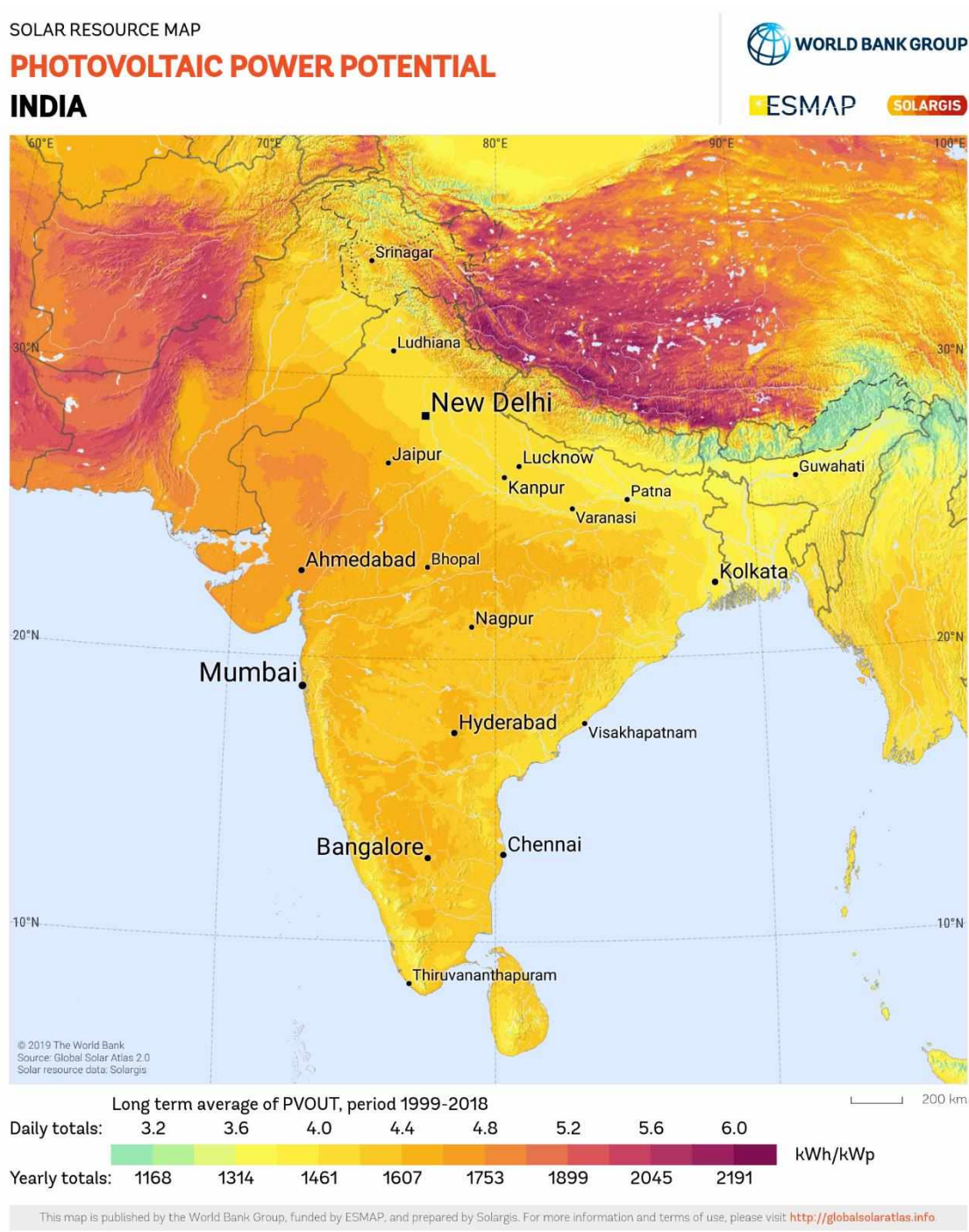
# PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL UNITED STATES OF AMERICA



This map is licensed by Solargis under the Creative Commons Attribution license (CC BY-SA 4.0). You are encouraged to use content of the map to benefit yourself and others in creative ways. For more information, please visit <http://solargis.com/download>

Fonte: THE WORLD BANK, 2019

Figura 10: Potencial fotovoltaico da Índia



Fonte: THE WORLD BANK, 2019



Figura 11: Potencial fotovoltaico do Brasil



Fonte: THE WORLD BANK, 2019

Minas Gerais é o estado brasileiro com maior potência instalada, sendo Uberlândia o município mais expressivo do país, 1º colocado no ranking nacional dos municípios (ANEEL; ABSOLAR, 2020). Segundo a Tabela 6, as cidades do Sudeste podem ser consideradas representativas em termos de consumo, uma vez que este é maior que na maioria das outras regiões (perdendo apenas para a região Sul), ou seja, se existem sistemas capazes de

abastecer uma residência nesta região que possui alta demanda, em tese, estes também são capazes de abastecer as demais regiões.

Deve-se considerar também o potencial fotovoltaico do local. O segundo estado mais expressivo em potência instalada é o Rio Grande do Sul, que é também o mais distante da linha do Equador e, conseqüentemente, possui um dos piores potenciais fotovoltaicos do Brasil (ANEEL; ABSOLAR, 2020). Um estudo da EPE sobre o potencial dos recursos energéticos analisou o fator área de telhado como possível entrave para energia fotovoltaica e concluiu que esse também não é um fator limitante (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018c). Os casos citados comprovam a aptidão brasileira para a tecnologia ao se localizarem nas regiões consideradas mais sensíveis do mapa, seja pela alta demanda ou pela oferta limitada de matéria prima.

Como apontado pelo mapa, a cidade de Uberlândia está situada em uma região de grande potencial, com radiação diária média igual a 5,63 kWh/m<sup>2</sup>/dia (SOLAR FINGER, [s.d.]). Para analisar a viabilidade econômica do sistema utilizamos como base o consumo médio de energia por residência na região Sudeste, detalhado na Tabela 6.

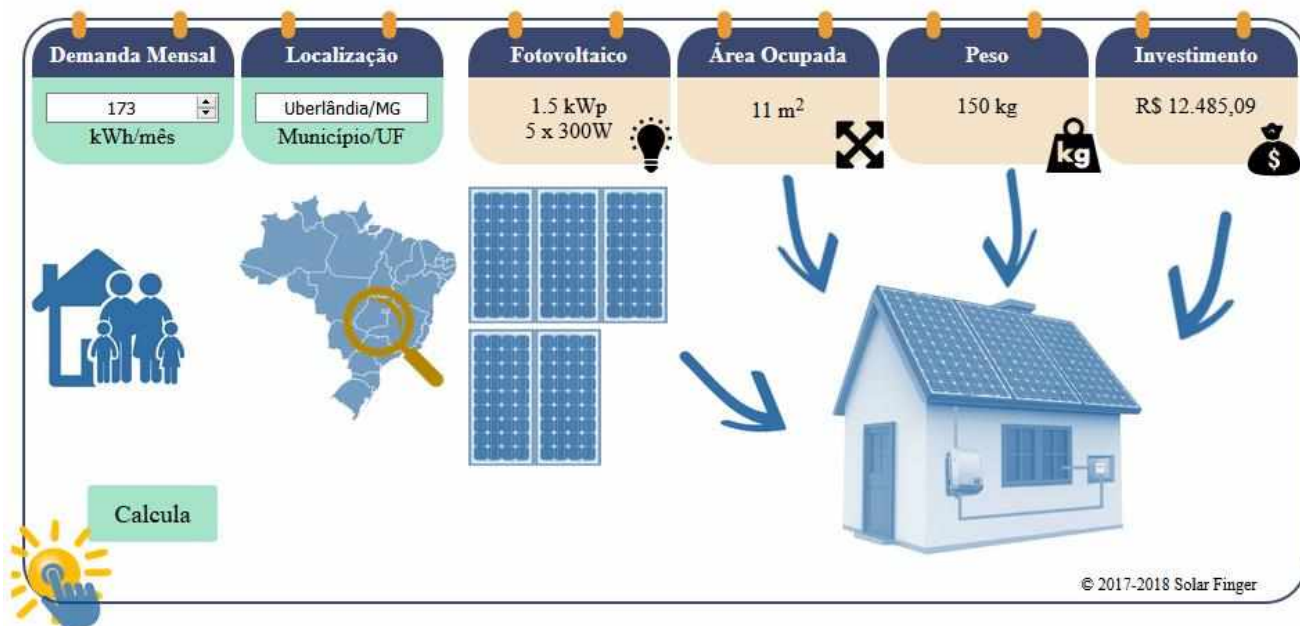
Tabela 6: Consumo médio residencial por mês por região brasileira

	2012	2013	2014	2015	2016	$\Delta\%$ (2016/2015)
<b>Subsistemas elétricos</b>	158,9	163	167,2	161,4	159,8	-1
<b>Sistemas isolados</b>	197,8	258	200,8	220,8	189,6	-14,1
<b>Norte</b>	114,2	122,6	144,9	148,9	154,9	4
<b>Nordeste</b>	109,5	118,4	121,3	120,8	121	0,2
<b>Sudeste/C. Oeste</b>	178,9	180,6	183,3	175,6	172,5	-1,8
<b>Sul</b>	178,5	181,6	190,3	177,4	177,1	-0,1

Fonte: (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017)

Os cálculos de potência, área, peso e investimento foram feitos utilizando o site Solar Finger (SOLAR FINGER, 2017) e estão apresentados na Figura 12.

Figura 12: Cálculo da potência, área, peso e investimento de um sistema fotovoltaico para uma residência de consumo médio na região Sudeste



Fonte: SOLAR FINGER, 2017

O input de dados foi o seguinte:

Demanda mensal: 173 kWh/mês, média de consumo para região Sudeste

Localização: Uberlândia-MG, informação com a qual o software consegue os dados para cálculo do HSP (horas sol pleno).

O software utilizou das seguintes informações de sua base de dados:

Potência do painel ( $P_p$ ): 300 W

Número de painéis ( $N_p$ ): 5

Dados que permitem o cálculo da potência total do sistema ( $P_t$ ):

$$P_t = P_p \times N_p$$

$$Pt = 300 \times 5 = 1500 \text{ W}\phi \text{ ou } 1,5 \text{ kW}\phi$$

Portanto, a energia solar produzida pelo painel fotovoltaico ( $E_s$ ) pode ser calculada pela equação seguinte, em que:

HSP: 5,63 h (SOLAR FINGER, [s.d.])

n: número de dias do mês

$$E_s = Pt \times HSP \times n$$

$$E_s = 1,5 \times 5,63 \times 30 = 253,45 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}}$$

É importante notar que, pelo cálculo, o sistema forneceria mais energia do que a demanda da residência, no entanto, isso ocorre porque tais valores são teóricos e na prática muitas intercorrências interferem na produtividade do sistema, que pode acabar não produzindo os valores testados em laboratório. Para corrigir isso e garantir o suprimento da demanda, o resultado final é multiplicado por um percentual correspondente a eficiência prática geral do sistema, nesse caso, em torno de 75%. Os demais dados (investimento, área e peso do sistema) também são da base de informações da empresa.

Segundo a Resolução Normativa 414 da ANEEL, 2010, a conta de energia no Brasil é dividida em custos fixos, que são o Custo de Disponibilidade do Sistema Elétrico e a Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (CIP), sendo a segunda estabelecida por lei para cada município. Os custos fixos da energia em Uberlândia estão demonstrados nas Tabela 8.

Tabela 7: Taxa por disponibilidade

	<b>Taxa por disponibilidade (kWh/mês)</b>
<b>Monofásico</b>	30
<b>Bifásico</b>	50
<b>Trifásico</b>	100

Fonte: (CEMIG, [s.d.])

Tabela 8: Taxa por iluminação pública

<b>Consumo mensal</b>	<b>CIP (% sobre valor do consumo)</b>
< 50	Isento
51 - 100	1,5
101 - 200	4,5
201 - 300	7
301 - 500	8,5
> 500	10

Fonte: (UBERLÂNDIA, 2004)

A análise de viabilidade financeira está demonstrada abaixo. A Tabela 9, construída com os dados das Tabela 7 e Tabela 8 mostra uma simulação do valor gasto com energia abordando as opções de abastecimento convencional e fotovoltaico. A Tabela 10 mostra o payback do sistema, ou seja, o tempo decorrido até que a economia na conta de energia pague a aquisição e implantação do sistema.

Tabela 9: Cálculo comparativo do valor da energia convencional e fotovoltaica

	<b>Tarifas fixas</b>		<b>Tarifas variáveis</b>		<b>Total</b>	
	<b>Consumo (kWh/mês)</b>	<b>Taxa por disponibilidade (R\$)</b>	<b>Taxa por Iluminação Pública (R\$)</b>	<b>Consumo de energia (R\$)</b>	<b>Abastecimento convencional (R\$)</b>	<b>Abastecimento fotovoltaico (R\$)</b>
<b>Monofásico</b>		19,71			136,55	22,87
<b>Bifásico</b>	173	32,85	3,16	113,67	149,69	36,01
<b>Trifásico</b>		65,71			182,54	68,87

\*Nos cálculos foi considerada uma média das bandeiras tarifárias

Fonte: (ANEEL, 2010; CEMIG, [s.d.]; UBERLÂNDIA, 2004)

Tabela 10: Análise do payback de um sistema fotovoltaico por consumo mensal

<b>Consumo (kWh/mês)</b>	<b>Preço do sistema</b>	<b>Economia mensal média (R\$)</b>	<b>Payback médio (anos)</b>
173	12.485,09	113,67	9
250	14.184,65	164,27	7
350	17.349,05	229,98	6
450	20.282,09	295,69	6
550	23.043,03	361,39	5

Fonte:CEMIG, [s.d.]; SOLAR FINGER, 2017

É notório que quanto maior o consumo mensal de energia mais rápido o sistema se paga, uma vez que os custos fixos não aumentam proporcionalmente ao custo do consumo. Apesar de sistemas projetados para atender demandas iguais ou maiores que 400 kWh/mês serem mais interessantes por apresentarem um payback mais rápido, pode-se dizer que ainda é vantajoso implantar a tecnologia em residências com consumo de 173 kWh/mês (consumo médio da região Sudeste), uma vez que a maioria das marcas têm garantia de 25 anos, sendo que algumas já relataram boas performances com até 30 anos de uso (FRANK ANDORKA, 2014; JORDAN; KURTZ, 2012). Além disso, a projeção de consumo poderia ser aumentada ao incluir o abastecimento de um veículo elétrico, uma vez que essa é uma forma flexível e economicamente viável de abastecimento visando a adesão da consolidada mudança da frota mundial, como visto no subcapítulo 3.2.

Já existem algumas iniciativas que apoiam a implantação desses sistemas em residências, empresas e indústrias. A maioria dos bancos que atuam no Brasil possuem alguma linha de crédito relacionada à sustentabilidade que permite o financiamento do sistema em várias parcelas com juros inferiores a 2% ao mês para pessoas físicas (COLAFERRO, 2018). Além disso, a própria resolução 482/2012 da ANEEL sobre geração distribuída possui alguns incentivos como o sistema de compensação e autoconsumo remoto, em que a

energia produzida por uma unidade é cedida por meio de empréstimo gratuito à distribuidora local e pode ser utilizada em até 60 meses por outras unidades de mesma titularidade ou na mesma unidade caso esta produza menos energia que utilizou dentro desse prazo. Essa questão permite que os sistemas instalados sejam *on grid*, o que evita o uso de baterias que seriam usadas caso houvesse a necessidade de estoque para consumo noturno e encareceriam a implementação.

Os sistemas *on grid* aliviarão a pressão no sistema de abastecimento e diminuirão a demanda por novas unidades já que, mediante grande adesão, uma quantidade significativa de energia seria produzida pelo próprio consumidor. A migração completa para centros urbanos abastecidos somente por fontes pontuais deve ser planejada e consolidada na construção de novas regiões autônomas. Nelas, todas as tecnologias de eficiência energética mencionadas no item 3 podem ser empregadas na concepção das edificações, de forma a diminuir o consumo e supri-lo de forma sustentável. Um ótimo exemplo de região projetada é o bairro de Schlierberg, em Friburgo, na Alemanha. As edificações locais foram construídas sob preceitos do design ecológico e são abastecidas por placas solares, que geram 4x mais energia que a necessária para suprir as necessidades do bairro (HAGEMANN, 2007).

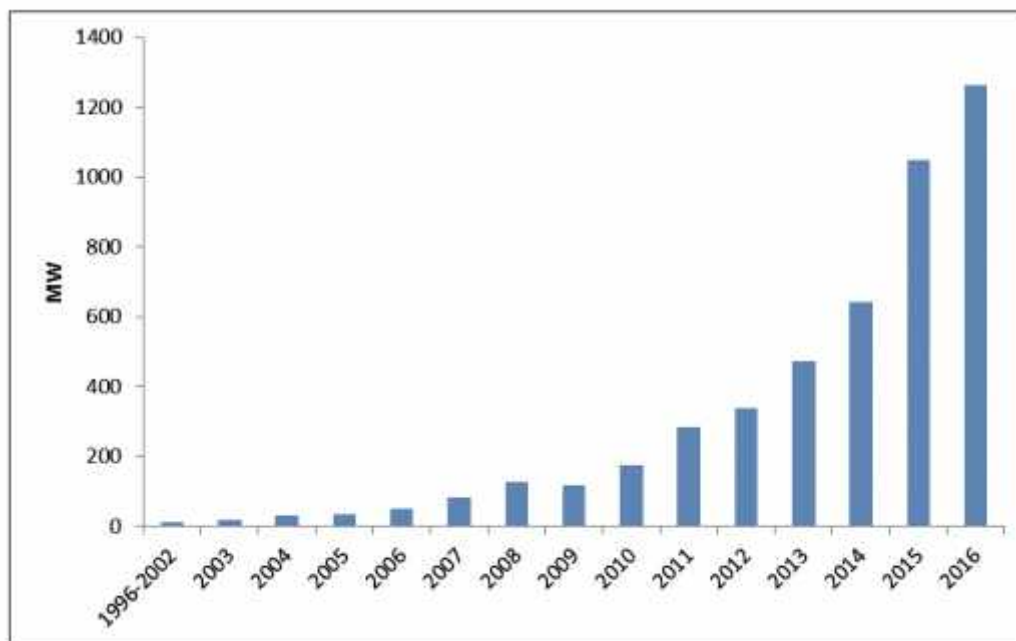
Apesar da proposta do trabalho ser a independência completa das grandes fontes geradoras de energia, os sistemas *on grid* aliviarão a pressão no sistema de abastecimento e diminuirão muito a demanda por novas unidades já que, mediante grande adesão, uma quantidade significativa de energia seria injetada na rede. A migração completa para centros urbanos abastecidos somente por fontes pontuais deve ser planejada e consolidada na construção de novas regiões autônomas, onde todas as tecnologias de eficiência energética mencionadas no item 3 podem ser empregadas na concepção das edificações, de forma a diminuir o consumo e supri-lo de forma sustentável. Um ótimo exemplo de região projetada é o bairro de Schlierberg, em Friburgo, na Alemanha, que foi construído sob preceitos do design ecológico e abastecido por placas solares nos telhados das casas que geram 4x mais energia que a necessária para suprir as necessidades do bairro (HAGEMANN, 2007).

É fato, porém, que quanto menor o consumo energético, menor é o custo benefício da implementação de um sistema fotovoltaico, no entanto, é importante considerar que o preço da tecnologia já diminuiu mais de 100 vezes desde 1950, sendo que os preços dos módulos na Europa caíram 83% de 2010 a 2017 e a projeção de queda no custo é de mais de 30% entre 2020 e 2050 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018d).

Outro ponto a ser pensado é a possibilidade da criação de mais programas de incentivo governamental no setor de energia sustentável, visando o redirecionamento dos gastos com grandes plantas energéticas e eletrovias para abastecimento de veículos na geração distribuída. P&D ANEEL, ENEREGISA e GESEL, 2018 fizeram um ótimo estudo sobre a transição da matriz energética de diversos países e como o governo interferiu no planejamento e execução de metas. Na Califórnia, por exemplo, foi criado o Business Energy Investment Tax Credit (ITC) como forma de incentivo, que consiste em uma forma de crédito fiscal estabelecido a nível federal que provia um desconto de 30% para sistemas de geração solar. Tais incentivos aumentaram muito a utilização da energia solar (Figura 13), inclusive distribuída, que somam 97% do total de projetos instalados, de forma que hoje o estado da Califórnia é líder nesse ramo nos Estados Unidos e comporta mais da metade de todos sistemas do país (P&D ANEEL, ENEREGISA, GESEL, 2018).

Figura 13: Evolução da energia solar distribuída na Califórnia

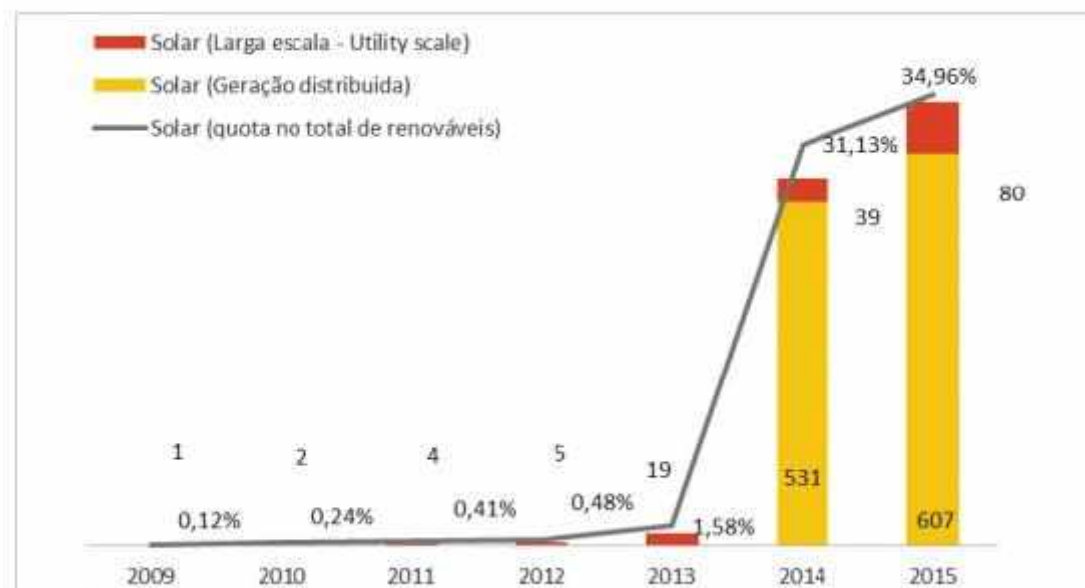




Fonte: (CALIFORNIA DISTRIBUTED GENERATION STATISTICS, 2017)

Uma abordagem diferente pode ser observada no Havaí, onde foi criada uma lei que obrigava qualquer nova habitação concebida a partir de 2010 a possuir um sistema solar para aquecimento de água, sendo que o governo oferecia incentivos em forma de crédito fiscal de 35%. Os resultados desta e de outras políticas de incentivo estão apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** A Alemanha, por sua vez, é um grande caso de sucesso resultado de políticas de incentivo e uma profunda mobilização social para mudança das matrizes energéticas que ganhou o nome de Energiewende. O sentimento ambientalista dos Alemães foi fomentado por políticas públicas como auxílios de até 70% nos custos de aquisição de sistemas fotovoltaicos, recebimento de tarifas em dinheiro por energia injetada na rede e boas condições de financiamento do sistema, o que resultou em uma mudança expressiva no quadro energético do país, com grande destaque para geração distribuída (P&D ANEEL, ENEREGISA, GESEL, 2018).

Figura 14: Aumento da produção de energia a partir de sistemas solares no Havaí, principalmente por GD (participação no total de geração renovável (%)) e segmentação entre GD e Larga Escala (GWh)



Fonte: EIA, 2016

Todas essas questões de incentivo podem ser utilizadas na migração para edificações ZEB, uma vez que estas seriam mais caras pelo problema do suprimento de energia noturno. A Tabela 4: Casos de ZEBs de sucesso mostra uma gama de alternativas de possível aplicação nas mais variadas condições climáticas, no entanto, é complexo detalhar a viabilidade destas já que cada uma exige um estudo de caso individual.

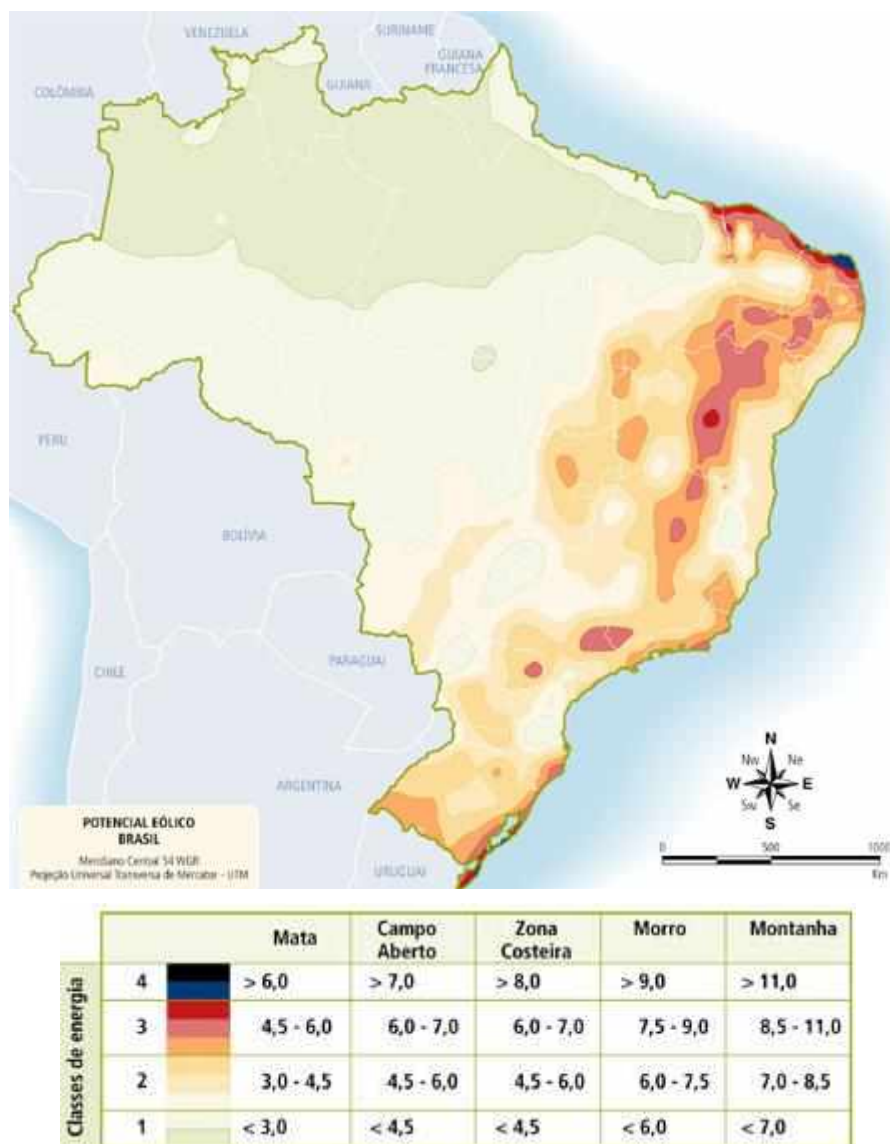
A microgeração eólica é uma alternativa que vem sendo amplamente difundida na Europa, principalmente na Alemanha (P&D ANEEL, ENEREGISA, GESEL, 2018). Esta consiste em um pequeno gerador eólico que pode ser instalado nos telhados das edificações desde o local possua uma velocidade de vento mínima igual a 2 m/s (ARAUJO, 2016; FILIPE; FERNANDES, 2013). A Figura 14

Figura 14: Potencial eólico no Brasil mostra o potencial eólico no Brasil. Pode-se observar que a região onde está situado o município de Uberlândia possui uma velocidade média de ventos de 4,5m/s – 6m/s em zonas de campo aberto (ANEEL, 2003), o que, teoricamente, seria suficiente para implementação.

Por outro lado, as medições demonstradas no mapa podem não ser representativas já que o vento em um determinado ponto depende muito da rugosidade do terreno no entorno. A altura em que foram estimadas tais velocidades também pode ser um problema, já que os microgeradores se situam muito abaixo de 50m. Além disso, é difícil contar com a constância da produção de energia pelo fato desta fonte ser fortemente influenciada pela sazonalidade.

Por todos esses motivos, é difícil estimar a viabilidade técnica e financeira de um sistema de microgeração eólica e pode-se dizer que as pesquisas brasileiras ainda estão em fase inicial para esse setor. No entanto, alguns trabalhos desenvolvidos no país mostram, em sua maioria, que tais sistemas são, por pouco, inviáveis para abastecer uma residência completa, sendo necessária uma pequena variação em algum parâmetro como velocidade dos ventos ou eficiência, no entanto, pode haver viabilidade em instalações de caráter complementar, principalmente com o avanço das tecnologias (ARAUJO, 2016; FILIPE; FERNANDES, 2013; GODOI; OLIVEIRA, 2016; ISAAC WERLANG DA SIVA, 2016; SILVA, 2019; VISSOTO, 2016).

Figura 14: Potencial eólico no Brasil



Fonte: ANEEL, 2003

É difícil afirmar com precisão a eficiência de um sistema híbrido painéis solares – gerador eólico pela falta de dados deste segundo sistema, mas acredita-se que esta é uma boa opção para uma edificação ZEB no Brasil uma vez que os painéis solares seriam produtivos durante o dia enquanto a geração eólica supriria a demanda noturna. A Tabela 4 mostra um exemplo de sucesso dessa combinação em São Paulo, que possui condições de insolação e vento parecidas com a de Uberlândia, o que atesta a viabilidade técnica do projeto mas

não dá detalhes da viabilidade econômica. É possível que ainda assim seja necessário o uso de um pequeno conjunto de baterias para acúmulo de energia em horários críticos dependendo da capacidade de geração eólica. Outra solução prática envolvendo baterias seria a instalação de conjuntos maiores capazes de armazenar a energia produzida durante o dia pelo sistema fotovoltaico para suprimento da demanda em horários de não produção.

Mesmo com a autossuficiência das edificações atingida é interessante que estas estejam interligadas por uma rede inteligente que distribua a energia entre edificações ZEB da melhor forma possível, de forma que a falta de energia seja evitada e o dimensionamento dos projetos não precise ser maior que o necessário. A concessionária poderia também possuir centrais de estratégia e logística para que o excedente acumulado nos horários de produção fosse redistribuído de acordo com a demanda, visto que essa é uma prática já empregada com as hidrelétricas. É importante ressaltar que o sistema atual precisa de adaptações tecnológicas para acompanhar a adesão da geração distribuída, principalmente tratando-se de operação do sistema elétrico (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018d).

## **5 Conclusão**

Diante de todos aspectos mencionados, o projeto de expansão energética do Brasil vai na contramão da tendência global. Enquanto muitos países como a Alemanha e China estão buscando formas de desligar suas usinas termelétricas, o Brasil caminha para essa opção assim que exaurir seus recursos hidrelétricos, o que será de grande perda ambiental e social. A contradição não vem só do investimento nas fontes tradicionais, mas também na atual especulação sobre a taxa da geração fotovoltaica distribuída. A proposta de mudança da Resolução Normativa 482 pode aumentar os encargos sobre a energia injetada na rede em até 60%, tornando a adoção do sistema muito menos atrativa e o mercado inseguro para investir.

Sabe-se que o suprimento de energia em um país tão populoso e de dimensões continentais é inegavelmente um desafio. Pensando na alta disponibilidade de matéria prima renovável e acessibilidade às tecnologias, é possível dizer que a geração distribuída é uma opção lógica e viável para o Brasil, que possui mais recursos em termos de fontes do que países onde este tipo de sistema já é consolidado. Outra questão muito importante é a distância das fontes convencionais dos centros de consumo, que implicam em cadeias de transmissão de alto impacto ambiental que poderiam ser mitigadas caso a GD fosse adotada.

A disseminação de tecnologias limpas de geração distribuída se mostra um grande avanço logístico e ambiental ao substituir plantas de grande impacto por gerações muito menos danosas ambientalmente e socialmente, benefício que pode ser aumentado caso a adoção de veículos elétricos acompanhe tal transição. Para que tal passo seja dado, é importante que a pesquisa seja desenvolvida nesse sentido, de forma a avaliar com mais precisão os recursos disponíveis no Brasil e adaptar melhor as tecnologias a serem aplicadas. A elucidação dessa iniciativa deixaria o mercado mais seguro para investir no setor, assim como ocorreu na Alemanha, onde a instalação de painéis solares virou um investimento rentável. Consolidadas as tecnologias e a necessidade de empregá-las, as grandes empresas e o governo se interessariam na questão, unindo, dessa forma, interesses econômicos e ambientais.

## 6 Referências

ABVE. **Electric Mobility Brasil instala eletrovia na Dutra**. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/electric-mobility-instala-eletrovia-na-dutra/>>. Acesso em: 10 out. 2019.

AL, S. et al. Heavy metals and arsenic concentrations in ten fish species from the Šalek lakes ( Slovenia ): assessment of potential human health risk due to fish consumption. p. 2647–2662, 2012.

ANEEL; ABSOLAR. **INFOGRÁFICO ABSOLAR 2020**. Disponível em: <

<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>>. Acesso em: 29 jan. 2021.

ANEEL; ABSOLAR. **INFOGRÁFICO ABSOLAR**. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar-.html>>. Acesso em: 27 dez. 2019.

ANEEL. **Energia Eólica**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_eolica/6\\_3.htm#19](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/6_3.htm#19)>. Acesso em: 5 jan. 2020.

ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414. 2010.

ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482. 2012.

ARAUJO, S. R. N. MICROGERAÇÃO EÓLICA CONECTADA À REDE ELÉTRICA PARA USO RESIDENCIAL. 2016.

AURELIO, M. et al. Gross greenhouse gas fluxes from hydro-power reservoir compared to thermo-power plants. v. 34, p. 481–488, 2006.

BEHESHTI, H. The prospective environmental impacts of Iran nuclear energy expansion. **Energy Policy**, v. 39, n. 10, p. 6351–6359, 2011.

BNEF. **Electric Vehicle Outlook 2019**. Disponível em: <<https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

BOEIRA, J. P. **Nova era da revolução energética para mobilidade**. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/colunas/noticia/2019/10/nova-era-da-revolucao-energetica-para-mobilidade.html>>. Acesso em: 21 out. 2019.

BRAIN, G. B. **Oberlin College Lewis Center**. Disponível em: <[https://greenbuildingbrain.org/buildings/oberlin\\_college\\_lewis\\_center](https://greenbuildingbrain.org/buildings/oberlin_college_lewis_center)>. Acesso em: 2 set. 2019a.

BRAIN, G. B. **DEP Cambria**. Disponível em: <[https://greenbuildingbrain.org/items/dep\\_cambria](https://greenbuildingbrain.org/items/dep_cambria)>. Acesso em: 2 set. 2019b.

CALIFORNIA DISTRIBUTED GENERATION STATISTICS. **California Distributed Generation Statistics**. Disponível em: <<https://www.californiadgstats.ca.gov/>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

CARDU, M.; BAICA, M. Regarding a global methodology to estimate the energy ± ecologic e • ciency of thermopower plants. v. 40, n. x, 1999.

CEMIG. **Valores de Tarifas e Serviços**. Disponível em: <[https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores\\_de\\_tarifa\\_e\\_servicos.aspx](https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx)>. Acesso em: 29 dez. 2019.

COLAFERRO, J. **Financiamento de Energia Solar: As 9 Melhores Linhas Para Você Obter o Melhor Retorno Financeiro Com o Seu Sistema.**

Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/financiamento-de-energia-solar/>>.

Acesso em: 29 dez. 2019.

CORCELLI, F. et al. Sustainable urban electricity supply chain – Indicators of material recovery and energy savings from crystalline silicon photovoltaic panels end-of-life. **Ecological Indicators**, v. 94, p. 37–51, 2016.

DEMIRAK, A.; YILMAZ, F. Heavy metals in water , sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. v. 63, p. 1451–1458, 2006.

DERU, M.; TORCELLINI, P.; PLESS, S. Energy Design and Performance Analysis of the BigHorn Home Improvement Center Energy Design and Performance Analysis of the BigHorn Home Improvement Center. n. January, 2005.

EIA. **USA INFORMATION ENERGY ADMINISTRATION.** Disponível em: <<https://www.eia.gov/>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

ÉPOCA NEGÓCIOS ONLINE. **Noruega é 1 país do mundo a vender mais carros elétricos do que veículos tradicionais.** Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Mundo/noticia/2019/04/noruega-e-1-pais-do-mundo-vender-mais-carros-eletricos-do-que-veiculos-tradicionais.html>>.

FAPESP. **Lighting the way: Toward a sustainable energy future.** [s.l: s.n.].

FARIA, F. A. M. DE et al. Estimating greenhouse gas emissions from future Amazonian hydroelectric reservoirs Estimating greenhouse gas emissions from future Amazonian hydroelectric reservoirs. 2015.

FARIA, F. A. M. DE; JARAMILLO, P. The future of power generation in Brazil : An analysis of alternatives to Amazonian hydropower development. **Energy for Sustainable Development**, v. 41, p. 24–35, 2017.

FEARNSIDE, P. M. Environmental Impacts of Brazil ' s Tucuruí ´ Dam: Unlearned Lessons for Hydroelectric Development in Amazonia. v. 27, n. 3, p. 377–396, 2001.

FEARNSIDE, P. M. Impacts of Brazil ' s Madeira River Dams : Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Science and Policy**, v. 38, p. 164–172, 2014.



FEDRIGO, N. S.; GONÇALVES, G.; LUCAS, P. F. Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro. 2009.

FILIFE, J.; FERNANDES, T. Avaliação da viabilidade técnica da microgeração eólica. 2013.

FRANK ANDORKA. **Kyocera Solar Modules Independently Tested Show Excellent Performance.** Disponível em: <<https://www.solarpowerworldonline.com/2014/02/kyocera-solar-modules-independently-tested-show-excellent-performance/>>.

FRIEDL, G.; WÜEST, A. Disrupting biogeochemical cycles – Consequences of damming. v. 64, p. 55–65, 2002.

G1. **Jac apresenta compactos, SUVs e picape elétricos no Brasil.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/carros/carros-eletricos-e-hibridos/noticia/2019/09/17/jac-apresenta-compacto-suvs-e-picape-eletricos-no-brasil-veja-precos-e-fotos.ghtml>>. Acesso em: 19 set. 2019.

GARCÍA-VILLALOBOS, J. et al. Plug-in electric vehicles in electric distribution networks : A review of smart charging approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 38, p. 717–731, 2014.

GODOI, D. P. D. E.; OLIVEIRA, R. C. D. E. A VIABILIDADE ECONÔMICA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DE SISTEMA EÓLICO PARA USO RESIDENCIAL: ESTUDO DE CASO VIABILITY ECONOMIC ELECTRICITY MICROGENERATION IN SYSTEM THROUGH WIND POWER FOR RESIDENTIAL USE : CASE STUDY. v. 28, p. 51–56, 2016.

GUTTIKUNDA, S. K.; JAWAHAR, P. Atmospheric emissions and pollution from the coal- fired thermal power plants in India. **Atmospheric Environment**, v. 92, p. 449–460, 2014.

HAGEMANN, I. B. Solarsiedlung am Schlierberg , Freiburg ( Breisgau ), Germany. n. April 2000, 2007.

HARVEY, L. D. D. **No Energy and the New Reality 2.** 1. ed. Londres: [s.n.].

IAEA. IAEA INTERNATIONAL FACT FINDING EXPERT MISSION OF THE FUKUSHIMA DAI-ICHI NPP ACCIDENT FOLLOWING THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE AND TSUNAMI. n. June, 2011.

IEA PVPS. Snapshot of Global PV Markets. 2019.

ISAAC WERLANG DA SIVA. MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO

DISTRIBUÍDA: estudo de viabilidade MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO  
DISTRIBUÍDA: estudo de viabilidade. 2016.

JOA, B.; SOARES, F. J.; ALMEIDA, P. M. R. Integration of Electric Vehicles in the Electric Power System. v. 99, n. 1, 2011.

JORDAN, D. C.; KURTZ, S. R. Photovoltaic Degradation Rates — An Analytical Review. n. June, 2012.

LEONARDO, J.; AURÉLIO, M.; FREITAS, V. Amazon and the expansion of hydropower in Brazil: Vulnerability, impacts and possibilities for adaptation to global climate change. v. 15, p. 3165–3177, 2011.

MARTINS, M. J. **Casa Sustentável Piloto ZEB / Snøhetta**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/773597/casa-piloto-zeb-snohetta>>. Acesso em: 2 set. 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2030**, 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Cenários de Demanda para o PNE 2050**, 2018a.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional**, 2018b.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050**, 2018c.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no horizonte 2050**, 2018d.

MOK, K. **reACT house is a resilient, adaptive & smart design for ecological living**. Disponível em: <<https://www.treehugger.com/green-architecture/resilient-adaptive-climate-technology-react-house-university-maryland-solar-decathlon-2017.html>>. Acesso em: 2 set. 2019.

NORMAN MYERS, RUSSELL A. MITTERMEIER, CRISTINA G. MITTERMEIER, GUSTAVO A. B. DA FONSECA, J. K. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853–858, 2000.

OLAVO, I. F. et al. Changes in river water quality caused by a diversion hydropower dam bordering the Pantanal floodplain. **Hydrobiologia**, v. 768, n. 1, p. 223–238, 2016.

ORÉFICE, G.; CAVALCANTE, U. **Carros elétricos serão maioria até 2040**. Disponível em: <<https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2019/05/carros-eletricos-serao-maioria-ate-2040.html>>. Acesso em: 21 out. 2019.

P&D ANEEL, ENEREGISA, GESEL. **Experiências Internacionais em Geração Distribuída: motivações, impactos e ajustes**. [s.l: s.n.].

PACHECO, F. Energias Renováveis : breves conceitos. p. 4–11, 2006.

PAIXÃO, A. **Porsche lança o Taycan, seu primeiro veículo elétrico**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/carros/carros-eletricos-e-hibridos/noticia/2019/09/04/porsche-lanca-o-taycan-seu-primeiro-veiculo-eletrico.ghtml>>. Acesso em: 19 set. 2019.

PELEGI, A. **Ônibus movido a energia solar depende de apoio da comunidade para manter projeto de pesquisa**. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2019/02/19/onibus-movido-a-energia-solar-depende-de-apoio-da-comunidade-para-manter-projeto-de-pesquisa/>>. Acesso em: 30 set. 2019.

PLESS, S. et al. Zero Energy Buildings : A Critical Look at the Definition Zero Energy Buildings : A Critical Look at the Definition 1. n. November 2014, 2006.

PORTAL SOLAR. **UFSC desenvolve ônibus elétrico movido a energia solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/ufsc-desenvolve-onibus-eletrico-movido-a-energia-solar.html>>. Acesso em: 30 set. 2019.

RASHAD, S. M.; HAMMAD, F. H. Nuclear power and the environment: comparative assessment of environmental and health impacts of electricity-generating systems. v. 65, 2000.

RICHARDSON, D. B. Electric vehicles and the electric grid : A review of modeling approaches , Impacts , and renewable energy integration. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 247–254, 2013.

SANTOS, T. **Alphenchic**. Disponível em: <[https://www.homify.com.br/livros\\_de\\_ideias/352166/casa-auto-suficiente](https://www.homify.com.br/livros_de_ideias/352166/casa-auto-suficiente)>.

Acesso em: 2 set. 2019.

SCHAUER, G. **Smart House by Baufritz: First Certified Self Sufficient Home in Germany**. Disponível em: <<https://www.trendir.com/smart-house-by-baufritz-first-certified-self-sufficient-home-in-germany/>>. Acesso em: 2 set. 2019.

SILVA, E. P. F. DA. ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONOMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO EÓLICO RESIDENCIAL NA CIDADE DE MOSSORÓ - RN. 2019.

SOLAR FINGER. **SOLAR FINGER RESOURCE**. Disponível em: <<https://solarfinger.com.br/radiacao-solar-no-brasil/>>. Acesso em: 27 dez. 2019.

SOLAR FINGER. **Solar Finger Sizing**. Disponível em: <<https://solarfinger.com.br/dimensionamento-online/>>.

SULLIVAN, J. Environmental and Energy Implications of Plug-In Hybrid-Electric Vehicles. p. 1185–1190, 2008.

THE WORLD BANK. **Solar resource maps of World**. Disponível em: <<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world>>.

TILT, B.; BRAUN, Y.; HE, D. Social impacts of large dam projects : A comparison of international case studies and implications for best practice. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. S249–S257, 2009.

TORCELLINI, P.; JUDKOFF, R.; HAYTER, S. Zion National Park Visitor Center : Significant Energy Savings Achieved through a Whole-Building Design Process Preprint. n. July, 2002.

UBERLÂNDIA. LEI COMPLEMENTAR Nº 387. p. 3–5, 2004.

VISSOTO, G. B. Viabilidade técnica na geração de energia elétrica com o uso de microgeradores eólicos. 2016.

WANG, M. Q. Environmental Implication of Electric Vehicles in China. v. 44, n. 13, p. 4856–4861, 2010.

WU, G. et al. Cadmium contamination in Tianjin agricultural soils and sediments : relative importance of atmospheric deposition from coal combustion. p. 405–416, 2013.

ZUBAIR, M. Analysis of net-zero energy housing society in Gwadar Pakistan to mitigate the load shedding problem. v. 065906, n. November, 2018.