



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



CB3E

centro brasileiro de eficiência
energética em edificações

cb3e.ufsc.br

Proposição de estratégias para obtenção de Edifícios de Energia Zero

Miguel Teixeira Gomes Pacheco
Enedir Ghisi
Roberto Lamberts

Florianópolis, agosto de 2013





RESUMO

Este relatório apresenta fatores a considerar na proposição de estratégias para obtenção de edifícios de energia zero no Brasil. Os fatores são embasados em revisão da bibliografia do estado da arte em edifícios de energia zero.

A revisão bibliográfica analisa a bibliografia internacional da área de edifícios de energia zero. São abordados quatro temas: as diferentes definições de edifícios de energia zero, os impactos das diferentes definições no projeto de edifícios de energia zero, a relação entre edifícios de energia zero e política energética e exemplos de projetos e de edifícios de energia zero construído.

A revisão bibliográfica abarca o período de desenvolvimento do conceito desde o seu início na década 1970 até os dias de hoje. A revisão aborda os edifícios de energia zero como instrumento de política energética para a transição de uma matriz energética fóssil para uma matriz energética renovável, perante o início do esgotamento das reservas mundiais de petróleo. Inclui uma análise de transições energéticas anteriores e sua relação com a presente transição para uma matriz renovável. Esta análise inclui visões macro e micro da problemática da transição de matriz energética e da importância primordial da eficiência energética no atual contexto. É enfatizado como a atual transição de matriz energética pode ter impactos severos no nível de vida dos cidadãos e no desempenho da economia em geral e na paz social. É analisada, igualmente, a relação sinérgica entre edifícios de energia zero e veículos elétricos para uma transição para uma matriz renovável.

Com base na análise são apresentados fatores a considerar na elaboração de uma futura política de edifícios de energia zero no Brasil. Estes fatores visam servir de insumos para a proposição de estratégias para obtenção de edifícios de energia zero para o Brasil. Em primeiro lugar, é salientado que qualquer iniciativa governamental para a promoção de EEZ em larga escala deve ser pensada como um instrumento de política energética que vise à transição para uma matriz energética renovável. Uma política energética deve anteceder e balizar a definição de EEZ que melhor atenda a transição de matriz energética.



A transição de matriz apresenta dois aspectos: tecnológico (garantir a disponibilidade de energia durante o período de transição) e econômico (garantir que o custo da energia é economicamente acessível, durante a transição, para a sociedade em geral). A política deve levar em conta que as fontes renováveis apresentam retornos de energia investida inferiores aos dos hidrocarbonetos. Adicionalmente que a geração renovável tem um caráter variável dependendo das condições climáticas. Este fato torna primordial a busca de eficiência energética como forma de lidar com os menores retornos de energia e a geração variável de energia. Economicamente, uma política para EEZ deve proteger os setores da sociedade mais exposto a aumentos do preço de energia, como os cidadãos privados. Os EEZ, no setor residencial, permitem aumentar o capital disponível para financiar meios de geração renovável ao engajar o capital dos cidadãos privados no aumento da geração renovável, reduzindo, simultaneamente, a sua exposição ao aumento do custo da energia.

A importância da transição de matriz transcende o setor energético. A extensão da indústria petroquímica nas cadeias produtivas faz dos hidrocarbonetos insumos básicos de setores chave como agricultura, indústria farmacêutica e química. Uma rápida transição para fontes renováveis reduz a demanda do setor energético por hidrocarbonetos, reduzindo o custo dos mesmos para agricultura e indústria. A transição energética afeta também o setor de transporte, quase exclusivamente usando os hidrocarbonetos como fonte de energia. A tecnologia “veículo para a rede” aliada aos EEZ gera uma relação mutuamente benéfica que estabiliza a oferta de energia renovável fornecendo, simultaneamente, uma nova fonte de energia para o setor dos transportes, ocorrendo esse elo através dos EEZ.

Adicionalmente, políticas para EEZ devem levar em conta a tipologia e setor. Algumas tipologias apresentam maior facilidade na conversão para EEZ. Entre tipologias com potencial similar, algumas apresentam um maior impacto na rede pública de energia e devem ser priorizadas, como as residências unifamiliares e galpões não refrigerados. Políticas de promoção de EEZ devem também determinar se visam balanço zero ou positivo.



As políticas para EEZ no Brasil devem levar em conta as especificidades brasileiras. O Brasil é um país tropical com largas áreas equatoriais, apresentando condições extremamente vantajosas para a geração renovável para diferentes fontes (hidroelétrica, fotovoltaica, solar térmica, eólica e biomassa) apresentando uma vantagem competitiva para a geração renovável. Adicionalmente apresentam consumos médios de energia per capita inferiores aos dos países desenvolvidos. As fontes renováveis são responsáveis por a geração de 40% da energia primária no Brasil contra 13% da média mundial. No entanto, a parcela gerada por fontes renováveis tem vindo a decrescer nas ultimas décadas. A promoção de EEZ apresenta uma oportunidade para voltar a aumentar a parcela de energia primária gerada por fontes renováveis no Brasil

Finalmente, a definição local de EEZ induz maior eficiência energética, maior geração renovável, sendo a mais de implantar devendo por isso ser considerada como base de uma política de EEZ.

Conclui-se que o interesse em edifícios de energia zero do início da década de 2000 até a presente época decorre de políticas energéticas visando a transição para uma matriz energética renovável. Que transições bem sucedidas de matriz necessitam de políticas governamentais para poderem ser bem sucedidas. A busca de eficiência energética é primordial na presente transição energética. Dentro da busca de maior eficiência energética em edificações é necessário pesquisar modelos próprios para climatização adaptados às condições climáticas brasileiras, pois os modelos disponíveis na bibliografia internacional foram criados para climas frios.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fotografia da Casa Hathaway	50
Figura 2: Usos finais de energia na Casa Hathaway.	51
Figura 3: Usos finais de eletricidade médios diários do EEZ em Queensland.....	56



LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Hierarquia das opções de fontes de energia renovável para uso de EEZ	16
Tabela 2: Hierarquia das opções de fontes de energia renovável para uso de EEZ	19
Tabela 3: Condições tecnológicas das Fontes de Energia para transição de matriz energética	31
Tabela 4: Características de diferentes fontes de energia para geração de eletricidade	32
Tabela 5: Condições tecnológicas das Fontes de Energia para transição de matriz energética	33
Tabela 6: Retornos de Energia Investida para diferentes opções de geração de eletricidade.....	35



SUMÁRIO

RESUMO	2
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	6
SUMÁRIO	7
1. INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVO	9
2. MÉTODO	9
3. RESULTADOS	10
3.1 DEFINIÇÕES DE EDIFÍCIOS DE ENERGIA ZERO	10
3.1.1 Revisão genérica dos pontos principais em litígio nas diferentes definições de edifícios de energia zero	11
3.1.2 Edifícios de energia zero e diferentes definições de energia	11
3.1.3 Edifícios de energia zero e energia local	12
3.1.3.1 Edifícios de energia zero e definição primária	12
3.1.3.2 Edifícios de custo zero de energia	14
3.1.3.3 Edifícios de energia de emissão zero.....	15
3.1.4 Edifícios de Energia Zero e geração própria de energia	15
3.1.4.1 Introdução	15
3.1.4.2 Eficiência Energética e edifícios de energia zero	16
3.1.4.3 Geração local e edifícios de energia zero	17
3.1.4.4 Geração e captação de energia renovável e EEZ.....	18
3.1.4.5 Compra externa de energia renovável para EEZ.....	18
3.1.5 Consumo próprio de energia em edifícios de energia zero	19
3.1.6 Edifícios de energia zero e transporte	20
3.1.7 Edifícios de energia zero e alimentação	23
3.2 COMO DIFERENTES DEFINIÇÕES DE EEZ IMPACTAM O PROJETO	23



3.3	A RELAÇÃO ENTRE EEZ E POLÍTICA ENERGÉTICA.....	24
3.3.1	O contexto energético atual	24
3.3.2	Energia e sociedade	25
3.3.3	Breve revisão dos efeitos da restrição energética nas sociedades.....	27
3.3.4	Condições necessárias para uma transição de matriz energética bem sucedida	30
3.3.4.1	Abordagem macro: fontes de energia, retorno sobre energia investida e outros indicadores.....	31
3.3.4.2	Abordagem micro: transições de serviços de energia	36
3.3.4.3	Gerando MegaWatts de NegaWatts	38
3.3.4.4	Definição primária e transição para matriz renovável.....	40
3.3.4.5	Definição local e transição de matriz energética	44
3.3.5	Setor das edificações e energia	46
3.4	EXEMPLOS DE EEZ.....	49
3.4.1	Exemplos de EEZ	53
4.	PROPOSIÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA OBTENÇÃO DE EDIFÍCIOS DE ENERGIA ZERO NO BRASIL	56
5.	CONCLUSÕES.....	61
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
	AGRADECIMENTOS	67



1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta uma revisão bibliográfica sobre edifícios de energia zero e propõe estratégias para obtenção de edifícios de energia zero no Brasil. É um trabalho do núcleo de inovação (NI) do Convênio ECV DTP 001/2012 Eletrobrás/UFSC.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é propor estratégias para obtenção de edifícios de energia zero no Brasil.

2. MÉTODO

Este relatório apresenta uma revisão da literatura sobre Edifícios de Energia Zero (EEZ). Esta revisão utilizou motores de busca procurando palavras chave relacionadas ao tema. Especificamente, foram utilizadas as palavras: *zero energy building* e *zero carbon building*. Os resultados das buscas utilizando estas palavras chave foram analisados, sendo os documentos mais relevantes utilizados para o presente documento. Os autores dos documentos considerados mais relevantes foram também objeto de busca nos motores de pesquisa. As bibliografias citadas nos documentos considerados mais relevantes à pesquisa foram também analisadas.

Os motores de busca utilizados foram os disponíveis no portal CAPES (www.periodicos.capes.gov.br) complementados por o uso do motor de busca Google e Google Scholar. Dentro do portal CAPES, o motor de busca principal foi o sciencedirect (www.sciencedirect.com) através do portal CAPES. As buscas foram feitas com um ip da Universidade Federal de Santa Catarina tendo acesso, dessa forma, ao texto completo dos documentos. Quando o texto completo não se encontrava disponível no motor de busca sciencedirect, buscas foram feitas em outras bases de dados presentes no portal CAPES.



Dado a novidade relativa do tema, não houve limitação de período de busca. A bibliografia citada abrange um período de 1975 até julho de 2013.

3. RESULTADOS

3.1 DEFINIÇÕES DE EDIFÍCIOS DE ENERGIA ZERO

Um edifício que gera energia suficiente para suprir o seu consumo anual de energia é designado de Edifício de Energia Zero (EEZ). Por definição, um EEZ gera a sua energia através de um sistema próprio de geração renovável.

Esta definição, aparentemente simples, apresenta várias nuances. Estas nuances impediram, até a presente data, um acordo sobre uma definição universalmente aceita (MARSZAL et al., 2011). As nuances decorrem de diferentes entendimentos sobre as definições. A literatura mostra divergências sobre as definições de energia, geração própria, consumo próprio e medição da energia.

A revisão mapeou seis artigos principais com o objetivo exclusivo de esclarecer a definição de EEZ. Torcellini et al. (2006) alertaram para o fato de existirem diferentes definições de EEZ, sendo por vezes incompatíveis. Marszal et al. (2011) sintetizam o resultado da tarefa conjunta da *European Building Performance Directive* (EBPD) e da *International Energy Agency* (IEA) com o objetivo de revisar a bibliografia sobre as distintas definições de EEZ. Esta tarefa visa propor uma definição de EEZ que possa ser universalmente aceita. Hernandez e Kenny (2010) propuseram uma definição de EEZ que inclui todo o ciclo de vida, contabilizando a energia de construção no balanço geral da energia. Goldstein et al. (2010) deram uma contribuição teórica ao sugerir a possibilidade de adição da energia de transporte dos usuários no balanço energético. Pogharian (2008) propôs incluir a energia consumida na produção dos alimentos e transporte dos mesmos até o edifício. A razão para tal proposta deriva da estreita dependência do atual modelo de



produção agrícola do gás natural (para produção de fertilizantes) e do petróleo (para a produção de agrotóxicos). A crescente escassez dos combustíveis fósseis, portanto, impacta diretamente a produção de alimentos no futuro.

Finalmente, Sartori et al. (2011) reconhecem que diferentes definições de EEZ são possíveis. Segundo Sartori et al. (2011) definições de EEZ dependem dos objetivos de política energética de cada país e suas condições específicas.

3.1.1 Revisão genérica dos pontos principais em litígio nas diferentes definições de edifícios de energia zero

Conforme referido na seção anterior, os desacordos sobre a definição de EEZ decorrem de distintas definições de energia, sobre geração própria, sobre consumo próprio, sobre medição da energia e qual o período do balanço a considerar. Segue-se uma revisão sobre cada um destes pontos.

3.1.2 Edifícios de energia zero e diferentes definições de energia

As diferentes definições de energia referem-se ao modo como a energia do balanço deve ser contabilizada. Torcellini et al. (2006) apresentam quatro definições diferentes de energia utilizadas em definições de EEZ: energia local, energia primária, custo de energia, e emissões de energia.

Estas quatro definições distintas de energia implicam em diferenças profundas. Um mesmo edifício pode ser, ou não, considerado EEZ, mudando a definição de energia utilizada



3.1.3 Edifícios de energia zero e energia local

Um EEZ de energia local mede o consumo de energia no medidor do edifício. A energia a ser repostada por geração própria do edifício é igual à medição da energia importada da rede durante o período de balanço.

De todas as quatro definições, a definição de energia local é a mais fácil de ser implantada (TORCELLINI et al., 2006). A razão está na fácil contabilização do balanço. A contabilização resume-se à leitura do medidor. Segundo Torcellini et al. (2006), a definição local exige a maior geração de energia para atingir o balanço. Conseqüentemente, força a aplicação de medidas mais estritas e exigentes de eficiência energética.

A maioria dos autores não defende o uso da definição de energia local para contabilizar o balanço (MARSZAL et al., 2011), pois ela ignora a eficiência geral do sistema. A definição local não toma em conta os gastos de energia decorrentes da geração e transmissão de energia. Por essa razão, a definição local é preterida em favor da definição primária, pela maioria dos autores (MARSZAL et al., 2011).

3.1.3.1 Edifícios de energia zero e definição primária

A definição primária é adotada na maioria dos EEZ (MARSZAL et al., 2011). Como exemplo, a definição primária é utilizada incluindo a última versão da *European Performance Building Directive* (EUROPEAN PARLIAMENT, 2010). A definição primária pode ser vista como oposta à definição local. A definição primária não considera toda a eletricidade como tendo o mesmo valor. A definição primária distingue entre sistemas de geração elétrica diferentes. Os custos energéticos da geração e transmissão de diferentes sistemas de geração elétrica são contabilizados na definição primária.

Como exemplo, imagine-se uma matriz energética com geração elétrica exclusiva por gás natural. Nesta matriz energética hipotética, gás natural é utilizado como



combustível para turbinas que geram eletricidade. Nas turbinas, o gás natural é queimado para aquecer água. A água evapora convertendo-se em vapor que move turbinas. O movimento das turbinas gera a eletricidade. A geração de eletricidade nestas condições implica perdas na geração devido a atrito, ruído e calor. Primeiro, na conversão de energia térmica em mecânica e, posteriormente, de energia mecânica em elétrica. Adicionalmente, ocorrem perdas na transmissão e distribuição.

A grandeza que contabiliza as perdas de conversão na geração, transmissão e distribuição é designada de fator de conversão. Assuma-se um fator de conversão de 3:1 para a matriz energética hipotética de gás natural. Com fator de conversão 3:1, para cada unidade de energia (elétrica) entregue no edifício, três unidades de energia (de gás natural) foram consumidas na turbina. Conseqüentemente, cada unidade de energia entregue ao consumidor final implicou a perda de duas unidades adicionais de energia. A definição primária visa reduzir estas perdas. Por esta razão é eleita pela maioria dos autores como a definição mais adequada para medida do balanço dos EEZ (MARSZAL et al., 2011).

No caso da matriz hipotética de gás natural, a definição primária incentiva utilizar sistemas que usem gás natural diretamente no edifício. Cada unidade de energia consumida por um sistema a gás natural no edifício evita o consumo de mais duas unidades de energia em uma central elétrica. Essas duas unidades de energia, cujo consumo foi evitado por uso de sistemas a gás natural no edifício, se transformam em um crédito energético para o edifício. Esse crédito pode ser abatido no balanço energético anual (TORCELLINI et al., 2006).

O crédito energético decorrente do uso da definição primária cria uma geração virtual. Essa geração virtual permite reduzir o dimensionamento do sistema próprio renovável do edifício (TORCELLINI et al., 2006). A redução do dimensionamento implica em menores custos na aquisição do sistema próprio renovável do edifício. A redução do dimensionamento implica que mais facilmente é atingido o balanço energético, quando comparado com a definição local (TORCELLINI et al., 2006).



3.1.3.2 Edifícios de custo zero de energia

Outra definição possível para contabilizar o balanço é o custo da energia. O custo da energia varia conforme a fonte utilizada para gerá-la. De forma geral, o custo da energia renovável é superior ao da energia convencional, embora essa realidade esteja mudando. Por essa razão, a geração de energia renovável é incentivada por alguns governos, que garantem a compra da energia renovável através de uma tarifa subsidiada superior à de mercado. Segundo esta definição, um edifício não precisa repor todo o seu consumo de energia. O edifício precisa simplesmente cobrir o custo da energia importada da rede. Quanto maior o subsídio pago pela energia renovável, maior a distância entre a energia consumida e efetivamente exportada.

A definição de energia de custo zero tem uma utilidade limitada. Em primeiro lugar, só é viável de um ponto de vista estritamente comercial. Se o sistema de geração for dimensionado para atingir o custo zero, quanto maior o bônus pago pela energia renovável gerada, menor será a capacidade do sistema de geração renovável de energia a instalar. Dessa forma, um edifício de custo zero nunca gera tanta energia renovável quanto a que consome, dado o bônus pago pela energia exportada. Caso o governo reduza o bônus pago pela energia renovável gerada, o edifício deixará de ser custo zero ou terá que aumentar a capacidade do seu sistema de geração.

Em segundo lugar, é inevitável que o governo reduza o bônus pago pela energia renovável exportada. À medida que a energia de fontes renováveis alcança um maior percentual da matriz energética, reduz-se a necessidade do governo de financiar a sua geração. Finalmente, quando a transição para uma matriz energética renovável estiver completa, não existirá mais razão para que o governo financie a geração renovável.



3.1.3.3 Edifícios de energia de emissão zero

Outra definição possível para energia zero enfoca as emissões decorrentes da geração da energia que o edifício importa. Um edifício de emissões zero gera tanta energia renovável de emissão zero quanto a energia consumida proveniente de fontes de energia geradoras de emissões. A definição depende do que se entende por emissões zero. Usualmente, o entendimento de energia de emissões zero refere-se a emissões equivalentes de carbono. Um edifício que siga a definição de Energia de Emissão Zero pode ter uma designação distinta: Edifício Carbono Zero, que é denominação mais utilizada na União Européia.

No entanto, afirmar que uma fonte de energia tem emissões zero só pode ser possível do ponto de vista da operação do sistema, não considerando emissões embutidas

3.1.4 Edifícios de Energia Zero e geração própria de energia

3.1.4.1 Introdução

Outro ponto de discórdia ocorre na definição de geração própria. Torcellini et al. (2006) observam diferenças entre as distintas fontes renováveis de energia. Torcellini et al. (2006) sugerem uma hierarquia entre as fontes renováveis de energia. A Tabela 1 apresenta uma síntese das diferenças com exemplos. A síntese explicita como as diferenças entre as fontes de energia renovável definem uma hierarquia.



Tabela 1: Hierarquia das opções de fontes de energia renovável para uso de EEZ

NÚMERO	OPÇÕES DE LOCAIS DE FORNECIMENTO DE ENERGIA	EXEMPLOS
0	Reduzir consumo de energia através de tecnologias de baixo consumo de energia	Iluminação natural, sistemas de condicionamento de ar, equipamento e iluminação de alta eficiência, ventilação natural, resfriamento evaporativo.
OPÇÕES LOCAIS DE FORNECIMENTO DE ENERGIA		
1	Uso de fontes renováveis de energia disponíveis dentro da implantação do edifício	Sistema fotovoltaico, aquecimento solar de água, e sistema eólico localizados no edifício.
2	Uso de fontes renováveis de energia disponíveis dentro do terreno	Sistema fotovoltaico, aquecimento solar de água, geração hidrelétrica de baixo impacto e sistema eólico localizados no terreno, mas fora do edifício.
OPÇÕES EXTERNAS DE FORNECIMENTO DE ENERGIA		
3	Uso de fontes renováveis de energia disponíveis fora do terreno para gerar energia no terreno	Biomassa, lenha, etanol ou biodiesel podem ser importados de fora do terreno ou subprodutos do terreno que podem ser processados in loco para gerar eletricidade e calor.
4	Compra de energia renovável fora do terreno	Compra de energia gerada por sistemas eólicos, fotovoltaicos, créditos de carbono ou outras opções “verdes” para compra de energia.

Fonte: Torcellini et al. (2006).

3.1.4.2 Eficiência Energética e edifícios de energia zero

Torcellini et al. (2006) observam que qualquer edifício pode se tornar um EEZ, por mais ineficiente que seja. Para tal, basta que disponha de um sistema renovável de geração de capacidade suficiente. Opõem-se ao projeto de EEZ sem preocupações de eficiência energética e defendem que EEZ devem ser projetados primeiro para extrema eficiência energética. Somente depois de tomadas todas as medidas de eficiência energética deve ser dimensionada a capacidade do sistema renovável.



Desta forma, a eficiência energética é o grau zero da hierarquia de fontes de energia renovável e o ponto de partida para qualquer EEZ. Este ponto de vista encontra respaldo na literatura (LAUSTSEN, 2009; MARSZAL et al., 2011).

3.1.4.3 Geração local e edifícios de energia zero

Torcellini et al. (2006) apontam que existem nuances na definição no que consiste geração própria de energia. A energia pode ser gerada na implantação do edifício (e.g. sistema fotovoltaico na cobertura), na área perto do edifício (e.g. sistema fotovoltaico no estacionamento do edifício). A energia pode também ser gerada em um parque eólico, dentro da propriedade que contém o edifício, mas distante do mesmo; ou pode ser comprada de um parque eólico de terceiros.

Segundo Torcellini et al. (2006), a busca de eficiência leva à busca da redução de perdas em transporte da energia. Sistemas renováveis de geração devem ser instalados o mais próximo possível dos EEZ (o ponto de consumo da energia). Este raciocínio define uma hierarquia entre fontes renováveis de energia. Esta hierarquia incentiva a redução de distância entre geração e consumo de energia nos EEZ.

Os sistemas renováveis de energia passíveis de serem instalados na área de implantação dos EEZ representam o grau máximo possível de redução de perdas de transporte de energia. Por essa razão, por exemplo, geração fotovoltaica ou eólica é preferida à geração micro hidroelétrica.

Torcellini et al. (2006) apresentam um segundo argumento a favor de sistemas de geração de energia instalados na implantação do EEZ. O segundo argumento é o uso do solo. A área de implantação do edifício já está alocada para uso do EEZ. O EEZ não deve usurpar o uso de áreas externas à sua implantação para a geração de energia. Esta preocupação é válida mesmo para áreas externas dentro da mesma propriedade. No futuro, as áreas externas podem ser necessárias para outros usos. A mudança de uso do solo pode



ocorrer compulsoriamente, como no caso de uma expropriação. No caso de uma expropriação, a geração do EEZ ficaria comprometida se depender de áreas externas para implantação de parte do seu sistema de geração.

Um terceiro argumento é o incentivo acrescido à eficiência energética. A limitação do sistema de geração renovável à área de implantação do EEZ cria um limite superior para a capacidade do sistema de geração renovável. Limitar a capacidade do sistema renovável de geração induz a uma maior busca por medidas de eficiência energética.

3.1.4.4 Geração e captação de energia renovável e EEZ

Na energia renovável existe uma diferença entre geração e captação. Sistemas fotovoltaicos e eólicos captam e geram energia no mesmo ponto. Um gerador de biodiesel ou etanol, por oposição, gera energia no ponto, mas depende de insumos captados em outro local. Uma vez que a prioridade deve ser a redução de custos de transporte, sistemas fotovoltaicos e eólicos são opções preferíveis a sistemas cuja captação é feita fora do terreno.

3.1.4.5 Compra externa de energia renovável para EEZ

Por último, existe a possibilidade de comprar energia renovável de terceiros para fechar o balanço zero. Esta é a opção com a menor classificação na hierarquia, pois os custos de transporte são os maiores e a geração da energia só é própria em termos legais, através da compra dos direitos ao uso. Efetivamente, um edifício que siga esta estratégia está dependente de fontes de geração de energia renovável externas. Em termos econômicos também é a opção mais arriscada, pois pode implicar um maior custo operacional, maior incerteza no custo da energia e dependência da disponibilidade de energia de terceiros para venda.



3.1.5 Consumo próprio de energia em edifícios de energia zero

Outro ponto de divergência entre as distintas definições de EEZ centra-se na definição de consumo próprio. Um edifício apresenta uma variedade de usos finais de energia. Distintos autores têm entendimentos diferentes sobre quais usos incluir no balanço. A Tabela 2 apresenta uma síntese dos distintos usos e dos autores que os incluem no balanço

Tabela 2: Hierarquia das opções de fontes de energia renovável para uso de EEZ

SISTEMA	FONTE
Condicionamento de ar	Esbensen e Korsgaard (1977), Torcellini et al. (2006), Pogharian (2008), Goldstein et al. (2010), Newell e Newell (2010)
Aquecimento de água doméstica	Torcellini et al. (2006), Pogharian (2008), Goldstein et al. (2010), Newell e Newell (2010)
Iluminação artificial	Torcellini et al. (2006), Pogharian (2008), Goldstein et al. (2010), Newell e Newell (2010)
Equipamentos	Torcellini et al. (2006), Pogharian (2008), Goldstein et al. (2010), Newell e Newell (2010)
Transporte para o edifício	Pogharian (2008), Goldstein et al. (2010), Newell e Newell (2010)
Produção e transporte dos alimentos até o edifício (exclui energia de preparação de alimentos na cozinha, incluída na energia dos equipamentos)	Pogharian (2008)

Segundo Marszal et al. (2011), a maioria das definições de EEZ não lista especificamente quais os usos finais de energia a serem incluídos no balanço. A pergunta pode parecer trivial, mas a *Nullenergihuset* (Casa de Energia Zero), um EEZ residencial construído em 1975 na Dinamarca, usa a denominação Energia Zero referindo-se somente a energia de climatização (ESBENSEN; KORSGAARD, 1977). Marszal et al. (2011)



citam especificamente o artigo de Torcellini et al. (2006) como exemplo da falta de definição explícita dos usos finais a incluir no balanço.

No entanto, a Tabela 1, cuja autoria é de Torcellini et al. (2006), menciona especificamente os usos finais a serem objetos de medidas de eficiência energética. A menção aos usos finais é feita na linha 0 da tabela. Dentro desses usos estão incluídos: o consumo de energia em condicionamento de ar, o consumo de água quente doméstica, o consumo de equipamentos como eletrodomésticos e todos aqueles decorrentes de equipamentos conectados nas tomadas e de iluminação artificial. Esta definição não se resume a equipamentos elétricos: fornos e fogões a gás estão incluídos no balanço. Embora tal não esteja explicitamente descrito na maioria das definições, esta parece ser a definição mais corrente.

No entanto, embora não seja pertinente a observação de Marszal et al. (2011) que Torcellini et al. (2006) não discrimina quais os usos finais de energia a serem contabilizados no balanço, tal observação é válida para a maioria da literatura, onde falta a discriminação específica dos usos finais a incluir no balanço.

3.1.6 Edifícios de energia zero e transporte

Alguns dos usos finais propostos para serem contabilizados no balanço transcendem aqueles usualmente associados aos edifícios. Goldstein et al. (2010) mencionam a energia de transporte de pessoas. Por energia de transporte Goldstein et al. (2010) entendem a energia consumida no deslocamento dos usuários até o EEZ. Os usuários de um escritório, por exemplo, consomem energia deslocando-se de suas residências para o escritório e, posteriormente, retornando às suas residências. Goldstein et al. (2010) argumentam que o gasto com energia de transporte pode ultrapassar significativamente a energia consumida no período de operação do edifício. Por sua vez, a energia de operação de um edifício, segundo Goldstein et al. (2010), é também superior à



energia embutida nos materiais e processos construtivos para a maioria dos edifícios. Dessa forma, mais que acrescentar energia embutida nos materiais e construção no balanço, seria necessário contabilizar a energia de transporte.

Newell e Newell (2010) projetaram e construíram a Casa Equinócio (*Equinox House*) que prevê, além de gerar energia para todos os sistemas da edificação, a geração adicional de 2000 kWh anuais para alimentar um carro elétrico. Esses 2000 kWh anuais são suficientes para garantir 12.875 km anuais de deslocamento de um automóvel elétrico. EEZ projetados para fornecer energia para automóveis existem pelo menos desde 2007 (CARLISLE et al., 2007).

Adicionalmente, a atual transição de matriz energética reforça a ligação entre setores da edificação e transporte. Lund e Kempton (2008) argumentam que o setor dos transportes usa, quase exclusivamente, combustíveis fósseis. O setor de transportes necessita migrar para uma nova fonte de energia. Por outro lado, a maioria das fontes de energia de maior disponibilidade e menor custo estão sujeitas a variações de geração. Uma transição de matriz energética para ter sucesso necessita de equilíbrio entre geração e demanda.

O equilíbrio entre geração e demanda pode ser obtida através da tecnologia "veículo para rede" (*Vehicle-to-Grid* frequentemente referido pela sigla V2G). Esta tecnologia utiliza as baterias dos veículos elétricos para armazenamento de energia na rede pública.

Os edifícios então fornecem o elo que permite a eletrificação do setor dos transportes. Esta eletrificação ocorre através da tecnologia "veículo para rede". Tal integração pode ocorrer através de veículos elétricos ou veículos híbridos *plug in*. Os veículos são ligados à rede pública de energia. Essa ligação ocorre nos edifícios enquanto os veículos estão estacionados. Enquanto estão estacionados os veículos ligados à rede, carregam as suas baterias quando a geração é excedente e fornecem energia para a rede



quando o consumo excede a geração. Através de redes inteligentes (*smart grids*) esta troca de energia ocorre de forma que os veículos mantêm a sua capacidade de descolamento quando o mesmo for solicitado.

As vantagens técnicas da aplicação da tecnologia “veículo para rede” para a operação da rede pública de energia são variadas, incluindo gerenciamento do pico de carga e regulação de frequência (HARTMANN; ÖZDEMIR, 2011; WHITE; ZHANG, 2011). Adicionalmente, Kisacikoglu et al. (2010) salientam que a tecnologia “veículo para rede” também auxilia no gerenciamento da corrente reativa.

Na questão econômica, Sovacool e Hirsh (2009) notam uma relação sinérgica entre a tecnologia “veículo para rede” e veículos híbridos *plug in*. A tecnologia “veículo para rede” pode reduzir o custo dos veículos híbridos *plug in* tornando-os mais atraentes para os consumidores. Se a tecnologia “veículo para rede” traz benefícios para os veículos híbridos *plug in*, a participação de mercado dos mesmos deve aumentar. Quanto maior a parcela de veículos híbridos *plug in* no parque automóvel, maiores os benefícios para a rede pública de energia.

Andersson et al. (2010) simularam os benefícios econômicos de veículos híbridos *plug in* para a Alemanha e Suécia de acordo com as regras do mercado de energia vigentes em 2008. Os resultados mostram um lucro médio mensal de 30 a 80 euros (com limitações, pois excluem os custos da infra estrutura). Outros autores, Hartmann e Özdemir (2011), calcularam um lucro menor para a Alemanha, definindo o rendimento máximo diário de 0,68 euro – 20,4 euro por mês - segundo o valor do euro em 2009. Andersen et al. (2009) apresentaram um modelo de implantação privado da tecnologia “veículo para rede” que separa a propriedade da bateria da propriedade do veículo com o objetivo de tornar os veículos elétricos economicamente mais atraentes para os consumidores. Neste modelo de negócios, os consumidores seriam proprietários dos veículos elétricos, mas não das baterias. As baterias seriam disponibilizadas por um fornecedor de forma similar à venda



de créditos de celular. Dessa forma, o fornecedor, disponibilizaria as baterias alugadas por período de tempo ou por uma distância pré-determinada.

3.1.7 Edifícios de energia zero e alimentação

Outro uso final, usualmente não incluído no balanço dos edifícios, é o custo energético da produção de alimentos. Deve-se enfatizar que o uso final em questão não se refere à energia utilizada para cozinhar os alimentos nos edifícios. O uso final proposto refere-se à energia embutida nos alimentos até o momento que os mesmos chegam aos edifícios. Esta energia inclui operação de máquinas agrícolas, energia de irrigação de plantações, transporte e refrigeração dos alimentos dos seus locais de origem até os edifícios e a energia usada na produção e aplicação de agrotóxicos e fertilizantes.

Pogharian (2008) propôs que o mesmo fosse agregado no balanço da casa definindo o conceito de Casa de Energia Zero (*Net Zero Energy Food*). Um projeto de demonstração incorporando estes conceitos, A Alstonvale *Net Zero House*, foi construído em Hudson, Quebec no Canadá (ATHIENITIS et al., 2009). Esta residência unifamiliar de energia zero incluía plantações de alimentos para reduzir a necessidade de importação dos mesmos.

A fundamentação conceitual para incluir a energia de produção da alimentação é a mesma para a inclusão da energia de transporte; a extrema dependência do atual sistema agro-industrial dos combustíveis fósseis e do *deficit* energético que o mesmo provoca entre energia gerada para produzir os alimentos e a energia contida nos mesmos segundo Horrigan et al. (2002).

3.2 COMO DIFERENTES DEFINIÇÕES DE EEZ IMPACTAM O PROJETO

Torcellini et al. (2006) apresentam um exemplo prático da influência da escolha da definição de EEZ na capacidade do sistema fotovoltaico instalado. Os autores apresentam



o exemplo do edifício Big Horn nos Estados Unidos. De acordo com a definição primária, o edifício precisaria de 1.718,7 m² de módulos fotovoltaicos contra 2.949,6 m² no caso da escolha da definição local.

Esta diferença de capacidade do sistema de geração decorre diretamente da definição de EEZ escolhida. A menor capacidade do sistema segundo a definição primária, não decorre somente do consumo de eletricidade ser menor para o EEZ primário.

O uso dos créditos de energia decorrentes do uso de sistemas a gás que são permitidos e incentivados na definição primária e proibidos na definição local. Na definição primária, cada unidade de energia consumida por um equipamento a gás permite abater aproximadamente duas unidades de energia elétrica no balanço do EEZ. Dessa forma, a capacidade do sistema pode ser reduzida sensivelmente embora isso implique que o edifício não repõe toda a eletricidade efetivamente consumida nele.

3.3 A RELAÇÃO ENTRE EEZ E POLÍTICA ENERGÉTICA

3.3.1 O contexto energético atual

A atual sociedade tecnológica depende dos combustíveis fósseis como fonte de energia. Os combustíveis fósseis são igualmente essenciais para a produção agrícola e industrial. Esse fato é consequência da importância da indústria petroquímica nos processos industriais. As indústrias de plásticos, química e farmacêutica dependem em larga escala dos combustíveis fósseis e especialmente do petróleo.

No entanto, o uso do petróleo tornou-se insustentável. Em primeiro lugar, o petróleo atingiu os primeiros estágios do seu esgotamento. Adicionalmente, os efeitos ambientais nefastos das emissões tornaram-se insustentáveis, devido ao seu papel no aquecimento global. Dessa forma é necessária uma mudança de matriz energética



3.3.2 Energia e sociedade

A necessidade de transição de matriz decorre do fato do esgotamento dos combustíveis fósseis – e do petróleo em particular – reduzir a quantidade de energia disponível para a sociedade. Segundo Tainter (2004), a existência de um excedente de energia é o principal propulsor da complexidade, quer isto dizer, o nível tecnológico de uma sociedade.

A diferença entre a complexidade (níveis tecnológicos) de cada sociedade depende das fontes de energia principais utilizadas. Especificamente, depende dos Retornos sobre Energia Investida das fontes utilizadas (*Energy Payback Return*) de acordo com Gagnon (2008). O conceito de Retorno sobre Energia Investida aparece sob diferentes formas na literatura: *Energy Return On Investment (EROI)*, *Assessment of Energy Surplus*, *Energy Balance* (HALL et al., 2009), *Energy Ratio*, *External Energy Ratio* (GAGNON, 2008).

O conceito de eficiência de conversão contabiliza as necessidades energéticas para converter uma fonte energética em outra (por exemplo, diesel em eletricidade), aproximando-se do conceito de retorno energético por investimento monetário. A Eq. 1 formula o conceito de Retorno sobre Energia Investida.

$$\text{Retorno sobre Energia Investida} = \frac{\text{Energia disponibilizada para a sociedade}}{\text{Energia requerida para obter a energia disponibilizada}} \quad \text{Eq. 1}$$

A primeira revolução industrial usou carvão como sua fonte primária principal. A atual sociedade tecnológica tem acesso a uma fonte de energia com um maior Retorno sobre Energia Investida: o petróleo. O petróleo foi responsável pelo crescimento econômico mundial da sociedade tecnológica de acordo com Kessides e Wade (2010).



A sociedade tecnológica atual necessita de fontes de energia com alto Retorno sobre Energia Investida e alta densidade de energia. O Retorno sobre Energia Investida é a base do desenvolvimento tecnológico. Quanto maior o Retorno sobre Energia Investida menor o preço energético da energia. Consequentemente, maior a energia disponível para a sociedade. No entanto, a disponibilidade da energia para a sociedade depende também da facilidade e custo de transporte da energia até os pontos de consumo. Quanto maior a densidade de energia, menores os custos de transporte energético e mais difundida a disponibilidade da energia a baixo custo. O petróleo tem ambas as características.

No entanto, as reservas de petróleo convencional são finitas. As reservas de petróleo parecem estar perto ou já terem atingindo o pico máximo de extração (*peak oil*), prevendo-se uma disponibilidade cumulativamente decrescente no futuro.

Preocupações sobre o fornecimento de petróleo não são novidade, tendo ocorrido nas décadas de 1920, 1930 e 1940 (FRIEDRICHS, 2010). Contudo, verifica-se um crescente consenso sobre a proximidade do pico de petróleo. A proximidade do pico do petróleo deixou de ser uma opinião isolada da *Association for the Study of Peak Oil* para ganhar a aceitação pacífica da academia em geral (ALEKLETT et al., 2010; DE ALMEIDA; SILVA, 2009; KHATIB, 2011; KJÄRSTAD; JOHNSON, 2009). Mais significativo ainda, a Associação Internacional de Energia, que durante anos defendeu a existência de reservas abundantes de petróleo para várias décadas, admite agora oficialmente a proximidade do pico do petróleo (MILLER, 2011; TANAKA, 2011).

Um exemplo paradigmático dessa mudança de atitude está no reconhecimento do fim da era da energia barata pelo próprio diretor executivo da Agência Internacional de Energia, Nabuo Tanaka. Em declaração feita em 2011, o diretor executivo afirmou que a única questão em aberto era como direcionar os lucros crescentes advindos de uma energia cada vez mais valiosa:

- 1 Para um círculo cada vez menor de produtores de energia;



2 Ou redirecionar os lucros para a economia doméstica dos consumidores, com benefícios adicionais para a sustentabilidade ambiental.

À medida que os campos de petróleo convencionais se esgotam, o Retorno sobre Energia Investida diminui, pois a extração de petróleo se desloca para campos de alto mar e elevada profundidade (como o pré-sal). Adicionalmente, cresce a exploração de petróleos de menor qualidade energética (como areias betuminosas). A extração de petróleos nessas condições requer tecnologias de extração mais complexas. Tais tecnologias aumentam o custo energético para extração, processamento e transporte, apresentado Retornos sobre Energia Investida cada vez menores.

Como consequência, o Retorno sobre Energia Investida da atual sociedade tecnológica vem caindo desde 1980 (GAGNON, 2008). Menores Retornos sobre Energia Investida resultam em redução do nível tecnológico da sociedade, com múltiplas consequências no nível de vida, dependendo da severidade da restrição energética.

3.3.3 Breve revisão dos efeitos da restrição energética nas sociedades

Diversos autores têm pesquisado os efeitos do pico de petróleo e consequente restrição energética em distintos setores da sociedade. Um dos primeiros efeitos está na redução da facilidade de transporte. Curtis (2009) revisou os efeitos do pico de petróleo e políticas de mitigação de mudança climática. O autor prevê uma acentuada redução do comércio global e encurtamentos das cadeias produtivas. Tal aconteceria como consequência da crescente escassez de petróleo. Becken (2011) prevê uma redução do turismo, especialmente no turismo de longa distância. Bridge (2010) prevê choques nas zonas urbanas e na produção agrícola. Newman (2007) aponta a dependência das cidades atuais aos combustíveis fósseis e em particular das cidades australianas. O autor defende políticas específicas para a transição de matriz energética pós-fóssil. Sem políticas



específicas, não se pode garantir uma mudança de matriz bem sucedida. No pior cenário, a transição de matriz energética poderia levar a um colapso da sociedade tecnológica.

Colapsos de civilizações como consequência de redução de fluxos de energia ocorreram frequentemente na história. Exemplos conhecidos incluem a terceira dinastia de Ur, a sociedade Micênica, o império Romano ocidental e a civilização Maya na Guatemala (TAINTER, 2004). Tais reduções dos fluxos de energia impactam a agricultura, impedindo a manutenção de níveis elevados de produtividade agrícola. A redução da produção agrícola torna impossível a manutenção de cidades com altas densidades populacionais e estruturas sociais especializadas, levando ao colapso das mesmas.

O atual modelo de produção agrícola de monocultura mecanizada em extensão é extremamente dependente dos hidrocarbonetos como apontou Bridge (2010). Gás natural e petróleo são os insumos base dos fertilizantes e agrotóxicos. A revolução verde, que desde o final da segunda guerra mundial tem permitido o aumento de produtividade agrícola, baseia-se em hidrocarbonetos.

Friedrichs (2010) tentou prever as reações possíveis das restrições de petróleo na sociedade tecnológica. Para tal, o autor estudou exemplos históricos onde uma redução de 20% do fornecimento de petróleo ocorreu. O autor previu três cenários possíveis que designou de: Militarismo Predatório, Recuo Totalitário e Adaptação Socioeconômica do estudo do Japão pré segunda guerra mundial (1918 a 1945), Coreia do Norte (década de 1990) e Cuba (década de 1990).

No cenário de Militarismo Predatório um estado reage tentando controlar os recursos naturais de outras nações monopolizando o seu uso à custa dos outros países. Como exemplo histórico, temos o caso do Japão perante o embargo norte americano antes e durante a segunda guerra mundial.



No cenário de Recuo Totalitário, o uso dos escassos recursos naturais se faz dentro do país à custa da maioria da população. O usufruto dos mesmos é concentrado em uma minoria. No caso da Coreia do Norte, estimativas apontam a morte por inanição de 3 a 5% da população como consequência dessa política.

O terceiro cenário é exemplificado por Cuba e apresenta uma alternativa possível. Nos quatro anos posteriores ao colapso da União Soviética, as importações cubanas de petróleo foram reduzidas em 71%. Esta redução foi, no mínimo, tão severa quanto o caso da Coreia do Norte. Como consequência, a dieta básica média da população cubana ficou abaixo dos níveis básicos de sustentação humana. No entanto, segundo o autor, mortes por má nutrição não parecem ter ocorrido. Em parte, tal fato ocorreu devido a reformas governamentais que aumentaram receitas através do turismo e legalização de parte do setor informal. Mas principalmente devido a uma cultura de vizinhança forte que criou redes de solidariedade que reduziram os efeitos da fome e se dedicaram com sucesso à agricultura orgânica tanto no campo quanto nas cidades.

Wallgren e Höjer (2009) pesquisaram o atual sistema de produção e consumo de alimentos sueco. Os autores pesquisaram as adaptações necessárias para atender as metas de emissões do protocolo de Kyoto em 2050. Os autores sugerem um conjunto de quatorze medidas a serem implantadas. Uma das medidas é transição para sistemas de agricultura orgânica. Estes sistemas podem consumir até 50% menos energia na produção de alimentos comparados com os sistemas baseados em hidrocarbonetos. Propõem igualmente uma dieta com mais alimentos locais e da estação, sistemas de distribuição de alimentos otimizados, transição para sistemas de produção de alimentos com menor consumo de energia. Os autores concluem afirmando que comemos energia. Alterações no custo da energia têm efeitos diretos no preço da alimentação.

Possíveis cenários de colapso não escaparam da atenção dos governos e especificamente do setor da defesa. Karbuz (2006) realizou uma revisão da literatura militar dos Estados Unidos referente ao pico do petróleo. O autor, nos artigos publicamente



disponíveis, não encontrou nenhuma referência até 2002. A partir dessa data, onze artigos foram encontrados até 2006, prevendo que o pico do petróleo afetaria a capacidade operacional das forças armadas norte americanas.

Karbusz (2006) afirma, no entanto, que acredita que antes de 2002 análises secretas do pico do petróleo foram efetuadas pelas forças armadas norte americanas. A mídia na Alemanha e Reino Unido tem igualmente reportado a existência de relatórios secretos do estabelecimento militar sobre o pico do petróleo. As consequências previstas nesses relatórios incluem o fim do sistema de governo democrático e do mercado aberto de petróleo (MACALISTER, 2010; SCHULTZ, 2010).

3.3.4 Condições necessárias para uma transição de matriz energética bem sucedida

A literatura mostra abordagens distintas e complementares para a questão da transição de matriz energética. A primeira diz respeito a energia primária e fontes de energia. Lida com as qualidades físicas das fontes de energia e o seu desempenho medido através de indicadores quantitativos. Representa a abordagem macro à transição de matriz energética.

A segunda abordagem enfoca os usuários finais e os serviços de energia. Lida com valores subjetivos, da forma como os serviços de energia auxiliam os usuários finais a atender as suas necessidades básicas de calor, energia, transporte e iluminação. Representa a abordagem micro à transição de matriz energética.



3.3.4.1 Abordagem macro: fontes de energia, retorno sobre energia investida e outros indicadores

De forma a evitar a restrição de energia, as alternativas para fontes de energia devem ser inspecionadas para encontrar as melhores opções para a troca de fonte. Nesta abordagem, a transição de matriz energética significa a troca de uma fonte de energia por outra.

Transições de matriz energética já ocorreram no passado histórico. A primeira transição de matriz energética ocorreu com a transição da biomassa para o carvão na primeira revolução industrial. Na segunda revolução industrial ocorreu uma nova transição de matriz energética do carvão para o petróleo e gás natural.

A Tabela 3 sintetiza as condições tecnológicas que uma fonte de energia necessita cumprir para atingir uma transição de matriz energética de sucesso revistas na bibliografia.

Tabela 3: Condições tecnológicas das Fontes de Energia para transição de matriz energética

SISTEMA	FONTE
Retorno sobre Energia Investida	Reynolds (2007); Gagnon (2008); Hall et al. (2009); Kessides e Wade (2010)
Escalabilidade: capacidade de expansão até multi terawatt	Hall et al. (2009); Kessides e Wade (2010)
Relativo baixo impacto ambiental por unidade entregue à sociedade	Hall et al. (2009); Kessides e Wade (2010)
Transportabilidade	Hall et al. (2009)
Suficiente densidade de energia	Hall et al. (2009); Kessides e Wade (2010)
Longevidade: fonte renovável	Kessides e Wade (2010)

A Tabela 4 apresenta o desempenho de diversas fontes de energia em cada uma das condições tecnológicas para Transição de Matriz Energética segundo Kessides e Wade



(2010). Uma das condições apresentada na Tabela 3 (Transportabilidade) está ausente da Tabela 4, uma vez que os autores não a consideram. O produto final de todas elas, no entanto – eletricidade – é uma forma de energia altamente transportável e de elevada utilidade. A Tabela 4 considera somente emissões de carbono como impacto ambiental. Dessa forma, a energia nuclear aparece com uma pegada de carbono irrisória. No entanto, tal abordagem mascara os perigos ambientais inerentes da opção nuclear.

O Retorno sobre Energia Investida é a necessidade tecnológica mais citada na revisão para transição de matriz energética. Admitindo a importância do Retorno sobre Energia Investida para determinar o nível tecnológico de uma sociedade, qual o mínimo valor para permitir uma sociedade tecnológica?

Tabela 4: Características de diferentes fontes de energia para geração de eletricidade

CARACTERÍSTICAS	PETRÓLEO	GÁS	CARVÃO	NUCLEAR	HIDROELÉTRICA	EÓLICA	SOLAR
Densidade de energia	Alta	Alta	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
Longevidade	Décadas	Décadas	Séculos	Séculos	Ilimitada	Ilimitada	Ilimitada
Pegada de carbono	Pesada	Pesada	Pesada	Irrisória	Irrisória	Irrisória	Irrisória
Escalabilidade	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
Retorno sobre energia investida	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Baixo

Fonte: Kessides e Wade (2010)



Hall et al. (2009) analisaram o conceito Retorno sobre Energia Investida e apresentaram uma teoria para responder a esta questão. Segundo Hall et al. (2009) o conceito de Retorno sobre Energia Investida difere do conceito de eficiência de conversão. Embora o conceito pareça simples, o mesmo levanta alguns problemas. Os problemas são semelhantes às dificuldades de realizar análise de ciclo de vida ou de definir corretamente EEZ: onde e como definir os limites do sistema. Diferentes definições de Retorno sobre Energia Investida resultam da adoção de distintos limites do sistema. A Tabela 5 resume os limites possíveis de acordo com Hall et al. (2009).

Tabela 5: Condições tecnológicas das Fontes de Energia para transição de matriz energética

NOME	DESCRIÇÃO DA FRONTEIRA
Mina até a entrada	Energia necessária para trazer o combustível do fundo da mina até a entrada da mesma
Social	Soma de todos os custos para extrair aquela energia
Ponto de uso	Energia necessária para extrair e entregar aquela energia no ponto de uso
Estendida	Energia requerida para extrair, entregar e usar aquela energia

Fonte: Adaptado de Hall et al. (2009)

De acordo com Hall et al. (2009) o Retorno sobre Energia Investida Estendida mínimo para uma fonte de energia é 3:1 (equivalente a um valor de 10:1 quando medido em termos de Retorno sobre Energia Investida Mina até a Entrada) para uma atividade específica (quilômetros percorridos, casa aquecida). Este cálculo leva em conta a energia para refinar, transportar e usar petróleo nos Estados Unidos. Mas este Retorno sobre Energia Investida constitui o mínimo necessário para permitir tal atividade, deixando pouca energia excedente, atividades que gastam energia, mas não resultam diretamente em adquirir mais energia e recursos (como educação, ciência, medicina).



Este valor depende das condições de um ano específico e refere-se ao petróleo nos EUA, mas serve como um limite: marca o menor Retorno sobre Energia Investida útil para uso do petróleo. Isto é, o valor de saída para uso do petróleo.

Também marca o menor Retorno sobre Energia Investida para outros novos combustíveis. Se o Retorno sobre Energia Investida Estendida de um determinado combustível cai abaixo de 3:1 o mesmo vai precisar de um subsídio energético de petróleo. Um exemplo é dado por o etanol nos Estados Unidos, que é extraído do milho. O etanol norte americano apresenta um Retorno sobre Energia Investida, segundo a definição da mina até a entrada, com um valor de 1,3:1. Este valor é inferior ao limite de 3:1, servindo de exemplo de uma fonte de energia que precisa ser subsidiada com petróleo. Infelizmente, Hall et al. (2009) enfocam principalmente o Retorno sobre Energia Investida do petróleo e do etanol, com breve referência a outras fontes de combustíveis. No entanto, Gagnon (2008) analisou o Retorno sobre Energia Investida atribuído a diferentes fontes de energia como pode ser visto na Tabela 6. Uma vez que Gagnon (2008) define como Retorno sobre Energia Investida a energia necessária para construir, manter e alimentar o sistema, parece seguro assumir que estes valores representam o Retorno sobre Energia Investida Estendida.



Tabela 6: Retornos de Energia Investida para diferentes opções de geração de eletricidade

FONTE DE ENERGIA	TECNOLOGIA DE GERAÇÃO	MENOR ESTIMATIVA	MAIOR ESTIMATIVA
RENOVÁVEIS	Hidroelétrica com reservatório	205	280
	Hidroelétrica sem reservatório	170	267
	Eólica 35% de fator de uso	≈18 (no mar)	34 (em terra firme)
	Biomassa a partir do Lixo		27
	Biomassa plantada	3 (Transportada 100 Km)	5 (Transportada 20 Km)
	Solar fotovoltaica	3	6
NUCLEAR	Convencional	14	16
FOSSIL	Gás natural com turbina de ciclo combinado com 55% de eficiência	2,5 (Transportado 4000 Km)	5 (perto de poço)
	Gás natural com célula de combustível	1,5	3
	Petróleo com boiler convencional com 35% de eficiência	0,7 (Areias betuminosas)	2,9 (Petróleo convencional)
	Carvão com boiler convencional; 35% eficiência; extração	2,5 (Transportado 2000 Km)	5,1 (Transportado 500 Km)
	Carvão com boiler convencional; com sequestração de CO ₂	1,6 (Transportado 2000 Km)	3,3 (Transportado 500 Km)

Fonte: Adaptado de Gagnon (2008)

A análise da Tabela 6 mostra a viabilidade do uso de fontes renováveis para gerar eletricidade. Especificamente, coloca tanto a geração eólica quanto a solar fotovoltaica cumprindo e ultrapassando o limiar mínimo de Retorno sobre Energia Investida Estendida 3:1. Tal fato argumenta sobre a viabilidade de utilizar sistemas de geração fotovoltaicos em EEZ. Deve-se notar que Gagnon (2008) e Kessides e Wade (2010) não concordam com o



Retorno sobre Energia Investida para a geração de eletricidade fotovoltaica e combustíveis fósseis.

Comparando a Tabela 4 com a Tabela 6, pode-se observar divergências nas estimativas de Retorno sobre Energia Investida para geração fotovoltaica. Kessides e Wade (2010) classificam fotovoltaica com um Retorno sobre Energia Investida baixo apontando valores entre 1,6-5,1. Gagnon (2008) define um Retorno sobre Energia Investida entre 3-6 para geração fotovoltaica. Os números de Gagnon (2008) parecem mais confiáveis. Primeiro, pois mesmo Kessides e Wade (2010) mencionam que o Retorno sobre Energia Investida dos sistemas de geração fotovoltaicos tem aumentado nos últimos anos como consequência dos avanços tecnológicos na fabricação fotovoltaica, reduzindo a sua intensidade energética.

Em segundo lugar, porque sistemas de geração fotovoltaicos ainda estão longe de maturidade tecnológica e os avanços sobre a eficiência de operação, fabricação e instalação são esperados.

Em terceiro lugar, porque as tecnologias destinadas a reduzir as emissões de carbono utilizando combustível fóssil apresentam Retorno sobre Energia Investida abaixo de 3:1. Finalmente, o Retorno sobre Energia Investida dos combustíveis fósseis vai diminuir no futuro. Essa diminuição de Retorno sobre Energia Investida acentua-se na medida em que areias betuminosas e petróleo *off shore* aumentam a sua participação no total de petróleo extraído.

3.3.4.2 Abordagem micro: transições de serviços de energia

Haas et al. (2008) enfatizam a importância para os formuladores de política energética pensarem em termos de serviços de energia. Serviços de energia relacionam-se com o uso final de energia: a energia para serviços que os usuários finais necessitam.



Serviços de energia apresentam dificuldades na definição e medição. Difíceis de definir, pois eles podem apresentar características multifuncionais ou dinâmicas. Sovacool (2011) apresenta o exemplo de um forno a lenha. Um forno a lenha pode fornecer calor para cozinhar, aquecimento, água quente, ou todos ao mesmo tempo. Dessa forma, é complexo medir a eficácia de um serviço de energia, pois serviços de energia têm um objetivo final subjetivo: alcançar o estado psicológico dos usuários de satisfação de uma necessidade (SOVACOOL, 2011).

Transições de serviços de energia também não se correlacionam totalmente com transições de combustível. Fouquet (2010) descreve como a mudança de boi para cavalo como fonte de energia para o trabalho agrícola na Inglaterra aumentou a produtividade. Mas do ponto de vista das fontes de energia não existe diferença entre os dois, pois ambos usam biomassa como fonte de energia.

Moe (2010) defende uma ligação entre as transições de energia, serviços de energia, o crescimento econômico a longo prazo com política governamental, baseado na pesquisa das transições de energia nos últimos 250 anos. A pesquisa inclui a atual transição para as fontes renováveis de energia. Segundo o autor, as novas tecnologias energéticas, ao entrar no mercado, enfrentam competição em duas frentes. Por um lado, devem competir com outras novas tecnologias energéticas alternativas. Simultaneamente, precisam competir com as tecnologias energéticas já instaladas que pretendem substituir. Os interesses econômicos, ligados às fontes de energia estabelecidas, têm interesse em impedir a adoção dessas novas tecnologias.

Quando os interesses econômicos são bem sucedidos em bloquear ou atrasar a adoção de novas tecnologias de energia mais eficazes, o país paga um preço econômico, sendo superada pelas nações mais eficazes na implementação de tais tecnologias. Governos, portanto, desempenham um papel fundamental na transição de energia que alimenta o crescimento econômico subsequente. Em primeiro lugar, impedindo interesses estabelecidos em bloquear a implementação de novas tecnologias energéticas. Em segundo



lugar, criando as condições necessárias para promover a adoção de novas tecnologias energéticas (mesmo quando não existem interesses opondo-se à implementação de novas tecnologias, a falta de oposição não significa o sucesso automático na adoção das mesmas).

Fouquet (2010) também defende a necessidade de políticas governamentais para transição de matriz energética. Estudando quatorze transições de energia no Reino Unido desde 1500, Fouquet (2010) observa que as transições para novas tecnologias energéticas dependem da existência de nichos de mercado. Nesses nichos de mercado, os consumidores estão dispostos a pagar um bônus. Os consumidores ao considerarem existir benefícios nos novos serviços de energia se dispõem a pagar um bônus. Esse bônus permite à nova tecnologia energética competir mesmo com custo maior com as tecnologias energéticas já presentes no mercado, ganhando escala para posteriormente reduzir custos.

Mas a adoção generalizada geralmente depende do preço e, em menor grau, de maior eficiência. Uma vez que o preço se torna competitivo com a fonte de combustível precedente, a adoção generalizada ocorre. Adoção generalizada normalmente leva várias décadas, às vezes mais de cem anos. Fouquet (2010) salienta que a transição para fontes de combustível de baixo carbono apresenta uma situação nova. Não traz em si maiores benefícios privados: traz os benefícios sociais de redução das emissões de carbono, mas o serviço para o usuário final não se altera. Dessa forma, o governo deverá incentivar a geração de energia renovável. Finalmente, Fouquet (2010) enfatiza que por preço de energia se refere aos preços do serviço de energia e não ao preço de geração. Se o preço de geração é duas vezes mais caro, mas a tecnologia é três vezes mais eficiente que a anterior, a adoção da nova tecnologia ocorre.

3.3.4.3 Gerando MegaWatts de NegaWatts

Reynolds (2007) propôs três possíveis cenários teóricos para uma transição de matriz energética dependendo das qualidades das fontes de energia. O primeiro cenário da transição de matriz energética acontece quando ocorre uma transição de fonte de energia



de menor para uma de maior qualidade (maior Retorno sobre Energia Investida, densidade de energia e transportabilidade), resultando em uma transição de matriz energética com sucesso. Ambas as transições ocorridas até ao momento, da biomassa para o carvão e do carvão para o petróleo servem de exemplo deste tipo de transição de matriz energética.

O segundo cenário ocorre quando as mudanças de transição de matriz energética de uma fonte superior de qualidade de combustível para uma menor fonte de qualidade de combustível com a tecnologia mais eficiente, resultando em uma transição de menor sucesso, mas possível. O terceiro cenário ocorre quando a transição de matriz energética muda de uma fonte superior de qualidade de energia para uma de energia de qualidade inferior e tecnologia equivalente. O terceiro cenário corresponde a uma transição de matriz energética sem sucesso e implica uma redução do nível tecnológico e social.

Definir exatamente qual o cenário em que a atual transição de matriz energética se enquadra é complexo. O debate sobre o Retorno sobre Energia Investida das diferentes fontes de energia não encontra consenso. Perante a dúvida, convém assumir uma política conservadora. Uma Transição de matriz energética de sucesso ocorre somente nos cenários 1 ou 2. Na dúvida sobre o Retorno sobre Energia Investida das energias renováveis, justifica-se o investimento em medidas de eficiência energética. Isto é, garantir serviços de energia mais eficientes. Garantir serviços de energia mais eficientes direciona para uma transição de matriz energética do segundo cenário, mesmo que as fontes de energia que abastecem esses serviços de energia tenham eventualmente um Retorno sobre Energia Investida menor que os combustíveis fósseis. Adicionalmente, a maioria dos cenários futuros para transição de matriz energética mostra que levará décadas até que as fontes de energia renovável possam suprir uma parte significativa da matriz energética. Nessas décadas de matriz suja, medidas de eficiência energética são uma medida efetiva de redução de emissões.

Amory Lovins, o pioneiro norte americano da eficiência energética, cunhou o termo NegaWatts para designar o efeito da energia economizada através de medidas de eficiência



energética (LOVINS, 1989; LOVINS, 1996). Steinberger et al. (2009) defendem que a “geração” de NegaWatts é uma condição necessária para uma transição de matriz energética de sucesso. Para tal, os autores propõem uma Economia Energética Baseada em Desempenho (*Performance-Based Energy Economy*). Para implementar tal modelo, os autores propõem políticas públicas na área de energia que adotem o modelo de negócio das ESCOs (*Energy Service Companies*).

Devezas et al. (2008) afirmam que a eficiência energética opera como uma fonte primária de energia ao lado de carvão, petróleo e gás natural. Segundo os autores, fontes de energia primária mostram padrões regulares de substituição desde meados do século XIX até o terceiro quarto do século XX. Sua análise, com base em um modelo estendido de substituição Fisher-Pry prevê as mudanças históricas no uso de energia primária para a madeira, petróleo, gás, carvão natural e nuclear.

No entanto, desde 1980, o padrão de substituição parece ter parado, mantendo-se relativamente constante as contribuições de carvão, petróleo, gás natural, energia nuclear e hidrelétrica. Os autores, utilizando a intensidade energética mundial como um indicador de eficiência energética e conservação, mostram que a eficiência energética se integra dentro do modelo e de acordo com as tendências gerais da energia primária observada desde o século XIX.

3.3.4.4 Definição primária e transição para matriz renovável

Segundo a definição primária, todos os sistemas e equipamentos que possam ser operados localmente no edifício utilizando gás natural como fonte de energia, devem fazê-lo. Como exemplo de sistemas usualmente sugeridos para objeto de troca de fonte de energia (*fuel switching*) aponta-se os fogões e sistemas instantâneos de aquecimento de água doméstica.



Por evitar o gasto de duas unidades de energia que seriam perdidas na conversão de gás natural para eletricidade viram um crédito de energia (de três unidades de gás natural na planta, uma é efetivamente gerada e distribuída até ao o edifício, enquanto duas se perdem na conversão e na distribuição). Tal crédito pode ser utilizado como contrapartida para reduzir a quantidade de eletricidade gerada no edifício e reposta para a rede para cobrir seu débito energético. Admitindo uma matriz energética com um fator de conversão para o gás natural de 3 para 1, toda a energia utilizada por equipamento no edifício operado a gás natural geraria um crédito de duas unidades de energia para cada uma efetivamente consumida. O EEZ poderia reduzir a capacidade do seu sistema de geração renovável. Não seria necessário atender à sua real demanda de energia elétrica. Seria somente necessário atender à parcela de energia elétrica que os créditos duplicados do consumo de energia de gás natural não cobrissem do consumo efetivo de eletricidade do EEZ. Dessa forma, EEZ primários apresentam menor custo, dada a redução de capacidade necessária para o sistema de geração renovável.

No entanto, uma visão mais crítica e aprofundada levanta dúvidas sobre as vantagens da definição primária sobre a definição local. Uma vez que definição primária recompensa o uso de troca de fonte de energia, até que ponto esta deve acontecer? Do ponto de vista do utilizador do edifício é vantajoso proceder à troca de fonte de energia. A troca de fonte de energia fornece um crédito acrescido de duas unidades de energia por cada unidade de energia consumida.

Analisando os sistemas e equipamentos utilizados nos edifícios, e especificamente nos edifícios residenciais, uma análise do mercado mostra que a ampla maioria de todos os sistemas presentes e necessários à operação de uma residência ainda hoje encontra alternativas de equipamentos à gás no mercado. Especificamente, alternativas para refrigeração de alimentos (geladeiras funcionando a gás) e sistemas de iluminação. Tais sistemas constituem uma parcela significativa dos consumos energéticos de edifícios.



Admitindo um cenário em que aquecimento de água doméstica, geladeira e freezer, e iluminação são objetos de troca de fonte de energia, o setor residencial se tornaria um gerador positivo de energia virtual, gerando 50% mais da energia consumida por conta dos créditos energéticos, sem que efetivamente tenha gerado nenhuma energia. Esses créditos estariam disponíveis para os proprietários das residências para ser redimidos em energia elétrica, induzindo, portanto um convite ao aumento do consumo de energia de fontes não renováveis com captação externa. Se o consumo de ar condicionado fosse adicionado à troca de fonte de energia então 70 a 85% da energia do setor residencial no Brasil poderia ser suprida por gás. Isso resultaria que o setor residencial ganharia um crédito extra de energia de 140% a 170% do seu consumo. Esse crédito virtual pode induzir o aumento do consumo de energia nas edificações. Esse aumento de consumo seria suprido por uma parcela crescente de fontes combustíveis fósseis.

A definição primária também ignora o problema do transporte de energia. Incentivando a troca de fonte de energia em larga escala seria necessário fornecer maiores quantidades de gás às residências. A contabilização de um fator de conversão como 3:1, refere-se aos custos energéticos de transmissão de eletricidade gerada por gás através da rede elétrica.

Quando um uso final de energia elétrica é objeto de troca de fonte de energia, os custos de entrega do combustível até ao o ponto de consumo na residência, deixam de estar incluídos na rede elétrica. No entanto, esses custos não deixam de existir. Quando se argumenta que utilizar gás no ponto de consumo, como alternativa a consumir gás na usina de geração, se reduz perdas no sistema, esse fato é parcialmente verdadeiro. As perdas de geração de eletricidade são realmente evitadas. Todavia, os custos energéticos de transmissão de energia pela rede elétrica devem ser substituídos pelos custos de transporte do gás natural até ao o ponto de consumo nos edifícios. Seja por gasodutos ou por caminhão, existe um custo energético que deve ser contabilizado. Esse custo energético de transporte do gás deve ser comparado com o custo de gerar e entregar essa mesma energia via rede elétrica. No caso do transporte em caminhões movidos a motores de combustão



existem custos energéticos devido à baixa eficiência dos motores de combustão interna. O gás também apresenta uma baixa densidade de energia por volume segundo Reynolds (2007). Um dos motivos que incentivou a eletrificação no século XX foi precisamente o baixo custo de transmissão da eletricidade comparado com os combustíveis fósseis segundo Gagnon (2008).

Adicionalmente, o gás natural é um recurso não renovável. A troca de fonte de energia induzida através da definição primária, incentiva o aumento do consumo de energia. Obriga a manter a rede elétrica, a manter os investimentos em energia renovável e simultaneamente investir numa em uma rede de distribuição de gás com maior capacidade, duplicando esforços. O investimento nessa rede demanda capital e demora a implementar. Sabendo de antemão que o gás natural deixará de ser viável em umas poucas décadas, todo o investimento para o aumento da rede de transporte de gás se tornaria obsoleto. Terminado o uso do gás natural, todos os serviços de energia teriam que encontrar uma nova fonte de energia. A eletricidade parece o candidato mais forte.

O gás natural também dificulta a troca rápida de energia, que embasa o conceito EEZ. Uma vez que o gás natural é entregue no ponto de consumo num em um botijão, deixa de estar disponível para outros consumidores que tenham necessidade do mesmo. No caso de EEZ elétricos tal não acontece, pois a rede elétrica permite uma troca quase instantânea de energia.

Adicionalmente, existe o efeito do incentivo do uso do gás natural como fonte de energia no preço do mesmo. É de notar que o gás natural é também um insumo importante na indústria petroquímica, sendo essencial na produção de fertilizantes. A continuação do uso alargado do gás natural como fonte de energia implica na elevação do preço dos fertilizantes e dos alimentos como consequência.



3.3.4.5 Definição local e transição de matriz energética

A definição local é criticada por não tomar em conta os valores das distintas fontes de energia, ignorando as diferenças entre as diferentes fontes de energia que compõem a matriz energética. Efetivamente, a definição local não faz nenhuma menção a diferenças entre distintas fontes de energia. No entanto, em termos práticos, pode ser argumentado que a definição local comparada com a definição primária é mais eficaz na promoção da transição de matriz energética.

Tal eficiência decorre do fato da definição local forçar cada edifício a gerar o seu consumo de energia. Tal obrigação implica, simultaneamente, em maiores níveis de eficiência energética e maior geração renovável comparativamente à definição primária (TORCELLINI et al., 2006).

Gerar energia localmente, preferencialmente dentro da área de implantação do edifício, resulta na restrição da energia disponível. Tal restrição força a uma busca maior por medidas de eficiência energética comparada com as outras definições de EEZ segundo Torcellini et al. (2006). A eficiência energética é a forma mais econômica e direta para aumentar a eficiência geral da matriz energética. A energia mais econômica é a energia não consumida. Segundo Devezas et al. (2008), a implementação de medidas de eficiência energética desde a década de 1970 já apresenta efeitos no consumo mundial de energia equivalentes a uma nova fonte de energia.

Além de forçar uma maior busca de eficiência energética, a definição local também força a uma maior geração renovável. Ao contrário da definição primária, que pode se servir da troca de combustível para reduzir a capacidade do sistema de geração renovável, a definição local força um sistema de capacidade suficiente para gerar o consumo anual de energia. A geração próxima do ponto de consumo reduz perdas de transporte



A maximização da geração renovável é o objetivo primordial da transição de matriz energética. A definição local tende a incentivar que a transição ocorra mais rapidamente comparada com a definição primária, uma vez que exige maior capacidade instalada em cada edifício. A definição local torna a transição de matriz energética um processo mais facilmente verificável. Torna o processo de transição em uma sucessão de passos discretos, sendo o progresso passível de ser verificado edifício a edifício. Cada novo EEZ local acrescenta à rede uma geração renovável anual de igual grandeza ao seu consumo. Adicionalmente, apresenta metas mais claras e definidas para cada pessoa e organização na mudança de matriz energética, definidas através dos consumos energéticos de cada edifício.

No entanto, a geração local, principalmente quando aplicada ao subsetor residencial, teria implicações na rede pública de energia. A geração local implica idealmente o uso de eletricidade como forma de energia para suprir todos os usos finais de energia. Outras fontes de energia não apresentam a transportabilidade da eletricidade. A geração de eletricidade beneficia toda a rede pública de energia. Outras fontes, como solar térmica, não permitem partilhar a energia gerada com a rede quando o EEZ não a está consumindo.

A migração de todos os usos finais para eletricidade pode ter como consequência o aumento do consumo de eletricidade. Especificamente, no subsetor residencial, no contexto brasileiro, implicaria a transição dos consumos de cozinha para eletricidade.

Os equipamentos elétricos de cozinha apresentam uma eficiência maior que os equivalentes a gás segundo Hager e Morawicki (2013). Se for considerada toda a cadeia de produção de energia, com transmissão e distribuição de energia, o contexto brasileiro também favorece o uso de equipamentos elétricos. Usinas hidroelétricas geram a maior parcela da eletricidade brasileira. As usinas hidroelétricas apresentam eficiências duas a três vezes maiores que a usinas termoeletricas e nucleares segundo Hager e Morawicki (2013). Dessa forma, a utilização de equipamentos elétricos de cozinha resulta em uma



maior eficiência ao longo da cadeia de geração, transmissão e distribuição de eletricidade na matriz brasileira.

No entanto, a transição dos equipamentos residenciais de cozinha para eletricidade implicaria em um aumento da demanda de eletricidade. Segundo Dutilh e Kramer (2000), o consumo energético para produção de alimentos em residências é elevado, tendo um valor médio de 1,94 kWh/kg de produto cozinhado. Estes valores dizem respeito ao mundo desenvolvido.

Dufo-López et al. (2012) propuseram uma cozinha fotovoltaica sem ligação à rede para países em desenvolvimento em zona rurais, sem acesso a eletricidade (em países com renda per capita inferior a 4000 dólares norte americanos por ano). Nesse contexto, estimaram um consumo de 50 Wh por refeição. O alimento era produzido através do uso de uma panela de pressão elétrica automática com potência nominal de 600 W e tempo de cozimento de 20 a 30 minutos. Este valor apresentaria o valor mínimo de consumo energético encontrado na literatura. No entanto, os autores não mencionam o peso das refeições.

Uma revisão detalhada sobre as tecnologias disponíveis para produção de alimentos em residências foi realizada por Hager e Morawicki (2013). Os autores concluem que nem sempre as tecnologias mais eficientes são as mais econômicas, que as políticas devem ter atenção à redução de consumos de espera (*stand by*). No entanto, educação do consumidor na correta utilização dos equipamentos e em técnicas de cozinha de baixo consumo de energia apresentam o maior potencial de redução de consumo de energia.

3.3.5 Setor das edificações e energia

O setor das edificações consome 40% da energia primária no mundo segundo a *International Energy Agency* (2009). Isso faz das edificações o maior consumidor de



energia primária mundial. Dessa forma, este setor deve ser prioritário em qualquer política para transição de matriz energética.

Medidas de eficiência energética aplicadas a edificações podem reduzir significativamente o consumo energético das mesmas. O sucesso da implantação de normas de eficiência energética para edifícios com a R-2000 canadense ou a *Passivhaus* alemã são prova do efeito de tais medidas.

Contudo, é possível ir além da redução do consumo de energia nas edificações. É possível transformar as edificações de consumidoras passivas de energia em produtoras ativas de energia. A instalação de sistemas de geração renovável de energia em edificações permite a geração de energia. Tal geração pode ser suficiente para suprir o consumo anual da edificação e mesmo ultrapassá-lo disponibilizando energia de fontes renováveis para outros setores.

É possível transformar subsetores inteiros do setor das edificações em produtores líquidos de energia. Segundo Griffith et al. (2006), medidas de eficiência energética e instalação de sistemas fotovoltaicos nos edifícios comerciais norte americanos permitiriam transformar esse setor em um produtor líquido de energia. O estudo de Griffith et al. (2006) inclui todo o território dos Estados Unidos. Estão incluídos os estados com extremos climáticos como o Alaska (clima ártico), Califórnia e Novo México (clima seco e quente) e Louisiana (clima quente e úmido).

Segundo Griffith et al. (2006), com as tecnologias disponíveis em 2005, 22% dos edifícios poderiam ser EEZ. Com as tecnologias projetadas para 2025, 64% dos edifícios poderiam ser zero. Se a produção excedente de energia pudesse ser exportada livremente para a rede, o subsetor comercial nos Estados Unidos poderia gerar 37% mais energia que a consumida.



O estudo de Griffith et al. (2006) apresenta algumas limitações nas tipologias utilizadas. As tipologias assumiam a melhor orientação solar possível sem problemas de sombreamento nos módulos fotovoltaicos.

Griffith et al. (2006) salientam que os edifícios comerciais apresentam bastantes diferenças entre tipologias no seu potencial para EEZ. Tais diferenças nos consumos de tipologias distintas implicam em facilidades distintas para atingir o balanço zero. Segundo Griffith et al. (2006) de todas as tipologias comerciais, os galpões (não refrigerados) apresentam a maior facilidade de atingir e ultrapassar o balanço zero, pois têm frequentemente um só piso com baixo consumo energético. Os subsetores comerciais seguintes seriam edifícios de escritórios, educacionais e lojas.

Griffith et al. (2006) afirmam que a seleção dos subsetores comerciais prioritários para alvo de política EEZ deveria atender duas condições:

- A facilidade em atingir o balanço zero;
- Quanto do consumo de energia do setor pode ser reduzido.

De interesse para o cenário brasileiro, Dalton et al. (2008) mostraram a viabilidade de um grande hotel atingir o balanço zero através da geração eólica na costa do estado de Queensland, na Austrália. A região nordeste apresenta excelentes condições para geração eólica. Dessa forma, o subsetor de hotéis de praia apresenta potencial para o balanço zero.

Fora do setor comercial, o setor das edificações residenciais deve ser prioridade na implementação de políticas de EEZ. Tecnicamente, é o subsetor com mais facilidade em atingir a meta EEZ em larga escala. Socialmente, é aquele setor mais frágil e suscetível de regredir para uma condição de pobreza energética perante o cenário futuro de preços de energia mais elevados, decorrente da transição de matriz energética.



3.4 EXEMPLOS DE EEZ

A primeira referência do uso da denominação EEZ encontrada na revisão ocorreu em 1975 na Dinamarca com a *Nullenergihuset* (Casa de Energia Zero). A Casa de Energia Zero foi um edifício residencial de pesquisa construído pela Universidade Técnica da Dinamarca (ESBENSEN; KORSGAARD, 1977; SEIFERT, 2008). Embora este edifício tenha sido pioneiro no uso da denominação EEZ, energia zero neste caso referia-se somente a energia de climatização. Dessa forma, é discutível a utilização da denominação EEZ nos termos atuais.

Segundo Charron e Athienitis (2006), o primeiro EEZ conectado à rede data de 1980. A casa Carlise, nos Estados Unidos, utilizava um sistema fotovoltaico de 7,5 kWp de potência e 14 m² de coletores solares. A Casa Carlise foi o primeiro EEZ encontrado na revisão.

Foram necessários vinte anos para surgirem novas referências a EEZ. Isamu (2000) descreve a Casa de Energia Zero (*Zero Energy House*), um EEZ solar pré-fabricado construído no Japão. Este EEZ apresentava um sistema fotovoltaico com potência de 10 kWp, e sistemas de ar condicionado e água quente doméstica através de bombas de calor para maior eficiência. A cozinha utilizava um fogão de indução. O isolamento térmico foi duplicado em relação à prática de mercado japonesa naquela época. Segundo o autor, este edifício ultrapassava a marca de EEZ, gerando mais energia do que consumia em um ano.

Em 2001, nos Estados Unidos, um projeto de demonstração na zona de Washington DC, tentava alcançar a marca EEZ segundo Parker (2009). A Casa Solar Patriota (*Solar Patriot House*), ou Casa Hathaway (Figura 1) foi construída para mostrar o potencial de edificações eficientes em um clima misto.



Figura 1: Fotografia da Casa Hathaway (fonte: Parker (2009))

A Casa Hathaway estava equipada com um sistema fotovoltaico de 6 kWp, isolamento de paredes e fundações, com janelas utilizando vidros de baixa emissividade. O aquecimento de água doméstica utilizava coletores solares do tipo tubos evacuados e a climatização utilizava uma bomba de calor geotérmica para reduzir as cargas de climatização. A casa, no entanto, não conseguiu alcançar a marca EEZ, consumindo 10.585 kWh em 2002 enquanto gerou somente 7510 kWh nesse período.

Contudo, a casa foi extensamente monitorada por usos finais, fornecendo informação sobre o consumo de energia. A Figura 2 mostra os resultados desse monitoramento. Mostra a importância do consumo advindo de equipamentos conectados em tomadas. Este valor não está muito distante dos valores estimados na revisão sobre usos finais brasileiros para o item outros equipamentos.

Parker (2009) comentou que uma das conclusões da análise dos dados foi a falta de investimentos adicionais em eficiência energética que se mostrariam mais econômicos na obtenção da redução de consumo energético.

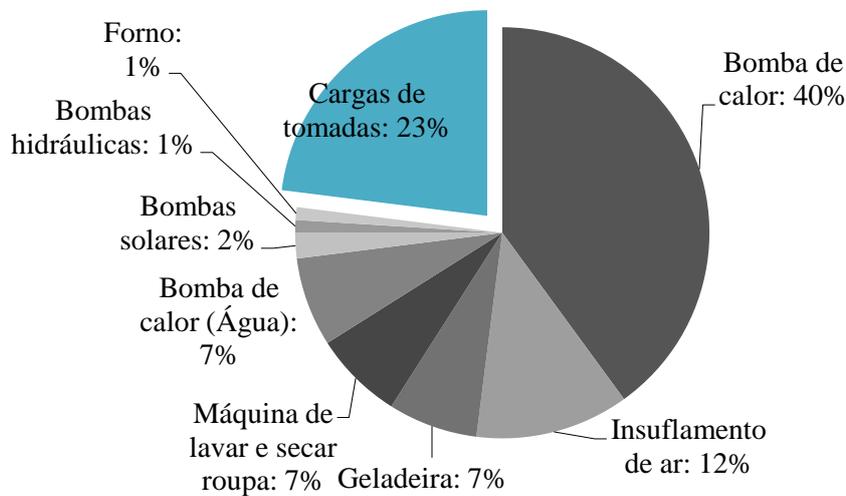


Figura 2: Usos finais de energia na Casa Hathaway (fonte: Parker (2009)).

A comparação das especificações da Casa de Energia Zero japonesa e da Casa Hathaway ilustram enfoques distintos no Japão e Estados Unidos sobre edifícios eficientes.

A rigor, a revisão não encontrou referências a uma política específica de promoção de EEZ japonesa ao contrário dos Estados Unidos e Europa.

Todavia, em meados da década de 1990, o governo japonês iniciou um programa bem sucedido de incentivo à instalação de módulos fotovoltaicos em edifícios residenciais. Este programa possibilitou que, durante o período de vigência deste programa, os fabricantes japoneses de módulos se transformassem nos maiores do mundo e o país tomasse a dianteira na potência fotovoltaica instalada (FOSTER, 2005).

Adicionalmente, o mercado japonês apresenta as maiores eficiências mundiais em sistemas de condicionamento de ar. Companhias japonesas também são responsáveis pelo lançamento comercial de tecnologias novas como bombas de calor de CO₂ integradas para



aquecimento de água. O resultado da confluência destas políticas resulta em EEZ, em alguns casos mesmo na ausência de uma política específica.

No entanto, a falta de um programa específico para construção de EEZ no Japão parece implicar um abandono do uso de técnicas passivas de projeto, demonstrado pelo menor isolamento térmico de envelope descrito no artigo de Hamada et al. (2003).

Pesquisas sobre EEZ em condições climáticas frias são igualmente presentes na bibliografia. Estas pesquisas incluem estudos de viabilidade (IQBAL, 2004) como projetos efetivamente construídos e posteriormente monitorados (CHARRON; ATHIENITIS, 2006; HOQUE, 2010; NORTON; CHRISTENSEN, 2008; NORTON et al., 2008).

Iqbal (2004) pesquisou a viabilidade de um EEZ na cidade de St. John, na província Canadense de Newfoundland. O autor pesquisou o desempenho de um modelo de residência unifamiliar construída de acordo com os parâmetros da norma R-2000 e sistema eólico para geração de energia renovável. Não obstante as condições climáticas subárticas, o autor concluiu que a velocidade anual média do vento de 6,7 m/s permitia atingir a marca do EEZ. Em geral, a geração solar fotovoltaica é preferível. No entanto, em alguns casos, sistemas eólicos de geração são uma opção válida. Dalton et al. (2008) apresentam um artigo mostrando a viabilidade de um grande hotel de praia atingir a marca EEZ somente com um sistema eólico.

Hoque (2010) apresentou um estudo de dois edifícios residenciais unifamiliares projetados e construídos com o objetivo de atingir a marca EEZ. Os dois edifícios foram construídos no noroeste dos Estados Unidos, no estado do Massachusetts, com o objetivo de atingir a marca EEZ local. Cada um dos edifícios, no entanto, tem um projeto e sistemas bastante distintos. Da comparação dos dois edifícios, o autor concluiu pela necessidade da criação de definições para EEZ que levem em conta a utilização de estratégias passivas de projeto, saúde dos ocupantes, conforto e durabilidade. Estas definições seriam necessárias para generalizar a adoção de EEZ no mercado.



3.4.1 Exemplos de EEZ

Zhu et al. (2009) analisaram o desempenho energético e econômico de um EEZ residencial unifamiliar construído na zona suburbana de Las Vegas, um clima quente e seco. O EEZ foi construído ao lado de uma habitação construída de acordo com a prática usual para servir de parâmetro de comparação. As simulações apresentadas no artigo partiram dos dados de desempenho dos dois edifícios recolhidos em campo durante o período de um ano. Tal procedimento teve como objetivo garantir uma maior margem de confiança nos resultados das simulações. Esses resultados foram depois usados como base para as avaliações de viabilidade econômica. As simulações de desempenho energético utilizaram dois software distintos: E-Quest e Energy 10. A avaliação econômica foi feita através do *payback*.

Os resultados da avaliação energética mostram que barreira radiante e um sistema de condicionamento de ar com um condensador refrigerado à água foram os itens com maior influência no desempenho. Os autores salientam que paredes com elevada massa térmica mostraram-se economicamente inviáveis com um *payback* de 634 anos. As paredes não conseguiram libertar todo o calor acumulado durante o dia no período da noite. No entanto, a massa térmica estava localizada na face externa das paredes em contato com o meio externo e não protegido por isolamento térmico no interior do edifício, contra as melhores práticas sugeridas na utilização de massa térmica.

Deng et al. (2011) apresentam dois projetos de edifícios residenciais unifamiliares. Um para um clima quente e seco (Madrid) e outro para um clima quente e úmido (Xangai). Os autores descrevem os sistemas dos dois EEZ.

O sistema fotovoltaico de Madrid era composto por três painéis. Dois painéis policristalinos nas fachadas leste e oeste perfazendo 66 m². Um terceiro painel misto fotovoltaico térmico com células monocristalinas com área de 33 m².



Ambos os edifícios utilizavam sistemas solares térmicos para auxiliar os sistemas de climatização. No caso de Madrid um sistema radiante era responsável pelo aquecimento cujo calor era fornecido por uma bomba de calor reversível elétrica de 2,4 kW de potência. No verão, um sistema radiante de arrefecimento utilizando o sistema fotovoltaico térmico híbrido, regenera os Materiais de Mudança de Fase integrados no forro do edifício.

No caso de edifício de Xangai, uma bomba de calor híbrida arrefecida a ar para auxiliar a operação do sistema condicionamento de ar elétrico. A bomba integra um *chiller Libr* de absorção e uma bomba de calor de CO₂.

O edifício de Madrid foi montado nessa cidade por um curto espaço de tempo: era o edifício que concorreu ao Solar Decathlon Europe 2010 da Universidade de Stuttgart. O edifício de Xangai é um projeto de um edifício de pesquisa a ser construído no campus da Universidade Jiao Tong.

Por esse motivo, o desempenho dos edifícios é avaliado através de simulações. Nas simulações, foram avaliados o balanço energético e as condições de conforto térmico no interior dos edifícios. O software de simulação utilizado foi o TRANSYS com arquivos climático retirados do Metanorm utilizando *timesteps* de seis minutos.

Segundo os autores, os edifícios teriam sucesso na manutenção das temperaturas dentro de faixas de conforto. Todavia, não seriam capazes de manter os valores de umidade relativa respectivos para garantir condições de conforto.

Ferrante e Cascella (2011) simularam a implantação de EEZ para a cidade de Tricase, no sul da Itália. Propondo um conjunto de apartamentos geminados horizontais concluíram que seria relativamente fácil atingir a marca EEZ naquele contexto. Os autores, no entanto, enfatizam que a aplicação somente de tecnologia não é suficiente. É necessário utilizar sistemas passivos, tradicionais e modernos para depois incorporar as tecnologias de geração.



Miller e Buys (2010) apresentam uma análise pós ocupação de uma residência unifamiliar para duas pessoas no estado de Queensland, na Austrália. Localizado no paralelo 28, o edifício foi monitorado de junho de 2009 a maio de 2010. O edifício conta com um sistema fotovoltaico com 1,7 kWp de potência. A instalação de suporte do sistema é móvel permitindo ajustar sazonalmente a inclinação de 18° a 40° para maximizar desempenho. A geração média anual é de 7,59 kWh por dia.

Um sistema solar térmico atende um consumo diário de água de 63 litros através de coletores solares planos montados a um ângulo de 35° para maximizar o desempenho no inverno. Este sistema foi capaz de atender 99% do consumo anual de água. Um sistema de aquecimento de água incluía um aquecedor a gás de *backup*. A alta fração solar foi atingida através do dimensionamento do sistema e da otimização do ângulo dos coletores para o desempenho para inverno.

É necessário notar que a dimensão do sistema fotovoltaico é muito inferior da prática revista na literatura. O edifício não é totalmente elétrico, mas mesmo assim os autores afirmam que a geração fotovoltaica ultrapassou o consumo elétrico somado ao consumo energético do gás.

O consumo médio diário anual foi de 3,46 kWh (Figura 3) e o consumo de gás foi de 5,4 MJ, resultando em um consumo diário equivalente de 4,96 kWh (148 kWh por mês)

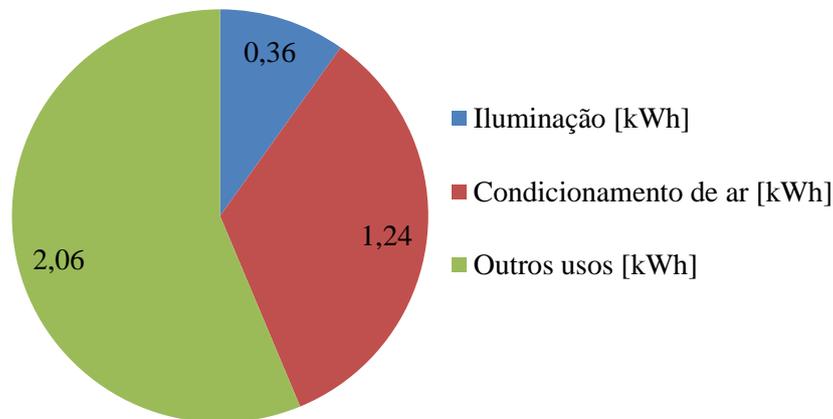


Figura 3: Usos finais de eletricidade médios diários do EEZ em Queensland (Fonte: Miller e Buys (2010))

Estes valores são um quarto do consumo médio residencial no estado de Queensland. É de notar que um consumo médio de água de 63 litros para duas pessoas por dia parece extremamente reduzido para a realidade brasileira. No entanto, o clima de Brisbane, Queensland, é comparável a climas sub tropicais brasileiros e foi possível atingir um consumo mensal de energia inferior a 200 kWh.

4. PROPOSIÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA OBTENÇÃO DE EDIFÍCIOS DE ENERGIA ZERO NO BRASIL

É necessário enfatizar que a promoção governamental de EEZ em larga escala deve de ser programada como um instrumento de política energética. As definições de EEZ a serem adotadas devem focar a implementação de objetivos de política energética. Dessa forma, é necessário primeiro definir objetivos de política energética para depois determinar que definição de EEZ melhor atenda a sua implementação.



O objetivo final, embasando as políticas de EEZ nos Estados Unidos e União Europeia, é conduzir a mudança para uma matriz energética renovável. O enfoque da transição pode priorizar a segurança energética ou a redução de emissões, mas o objetivo final é a condução da transição de matriz energética.

A transição de matriz energética tem dois aspectos: um tecnológico, outro econômico. Tecnicamente, é necessário garantir, durante a transição de matriz, o fornecimento contínuo de energia em larga escala. Economicamente, é necessário garantir que a energia esteja disponível de forma economicamente acessível.

Tecnicamente, a transição de matriz energética atual, de hidrocarbonetos para sistemas renováveis de geração apresenta um desafio maior que as transições de matriz energética anteriores. Este desafio decorre de dois pontos. Em primeiro lugar, uma incerteza sobre os retornos de energia investida da geração renovável comparados com os retornos dos hidrocarbonetos. Em segundo lugar, da natureza variável e flutuante de geração renovável comparada com os hidrocarbonetos.

A eficiência energética é um fundamento basilar da presente transição de matriz energética. Medidas de eficiência energética permitem compensar retornos de energia investida mais baixos e auxiliam no gerenciamento de uma rede pública de energia com uma geração flutuante.

Economicamente, a transição deve proteger os setores da sociedade mais expostos ao aumento do preço da energia. Os cidadãos privados constituem um desses setores sociais. Os EEZ permitem transformar os cidadãos privados de parte do problema em parte da solução. Permitem transformar os cidadãos privados de competidores por energia crescentemente mais cara com setores com maior acesso a capital, em geradores da própria energia e fornecedores de energia para complementar a oferta renovável na rede pública de energia. Permitem também fornecer mais capital para instalação de fontes renováveis ao



incentivar os cidadãos privados a investirem o seu capital próprio na aquisição de sistemas de geração renováveis.

É preciso também notar que os hidrocarbonetos não se resumem a fontes de energia na atual sociedade tecnológica. São também insumos indispensáveis da indústria petroquímica em diversas áreas chaves como agricultura, indústria farmacêutica e química. Quanto mais rápida a transição para uma matriz energética renovável, menor a pressão econômica no custo dos hidrocarbonetos como insumos industriais. Uma rápida transição para fontes renováveis permite reduzir mais cedo o consumo de hidrocarbonetos para geração de energia. Tal fato reduz a demanda geral por estes insumos, contribuindo assim para um menor custo dos mesmos para uso na indústria. Adicionalmente, permite um maior prazo para prever e programar a transição da agricultura e indústria para o fim da disponibilidade dos hidrocarbonetos em larga escala a preços economicamente viáveis.

É necessário igualmente levar em conta a questão do transporte. O setor dos transportes é também pela escassez de hidrocarbonetos e precisa encontrar uma nova fonte de energia. A tecnologia “veículo para a rede” permite reforçar a confiabilidade da rede de geração renovável na rede pública de energia. Ao mesmo tempo, esta tecnologia permite que os EEZ gerem e forneçam a energia para veículos elétricos. Existe, portanto, uma relação mutuamente benéfica entre um setor de transporte eletrificado e EEZ. As políticas energéticas devem levar esta relação em conta.

Além das questões ligadas à transição de matriz energética, existem questões ligadas à viabilidade de atingir o balanço zero dependendo da tipologia e setor. Algumas tipologias apresentam uma maior facilidade de atingir o balanço zero e devem ser priorizadas. Entre tipologias com potencial similar, algumas têm um impacto maior na rede pública de energia que outras, devendo ser priorizadas. As residenciais unifamiliares devem ser prioridade na promoção de EEZ. No setor comercial, galpões não refrigerados são a tipologia com maior facilidade de atingir o balanço zero e maior impacto positivo na rede.



Finalmente, uma política de promoção de EEZ pode incentivar o balanço zero ou o balanço positivo. A promoção do balanço positivo é menos frequente na literatura. No entanto, a Dinamarca, o primeiro país a implementar uma política de obrigatoriedade de EEZ para novos edifícios em 2010, escolheu promover edifícios positivos.

A estes fatos de alcance global existem particularidades inerentes ao contexto brasileiro. O Brasil apresenta condições extremamente vantajosas para geração renovável de diversas fontes. A sua condição de país tropical, com largas áreas equatoriais, garante vantagens para a geração fotovoltaica. Apresenta, igualmente, condições muito favoráveis para a geração eólica em algumas regiões no país como a nordeste. Aliado à ampla disponibilidade de recursos hídricos, o Brasil apresenta vantagens competitivas únicas no cenário mundial para a transição de matriz renovável. A história mostra que o acesso a fontes de energia de maior qualidade auxilia na prosperidade econômica das nações. O auge da liderança econômica britânica ocorreu durante a primeira revolução industrial, com uma matriz baseada em carvão mineral, do qual o Reino Unido possuía amplas reservas de alta qualidade. A economia britânica foi ultrapassada pelos Estados Unidos durante a segunda revolução industrial, com matriz baseada em petróleo e gás natural – recursos que os Norte Americanos dispunham em quantidade, qualidade e fácil acesso, ao contrário dos Britânicos.

Políticas de promoção em geração hidroelétrica e biomassa levam, hoje, o Brasil a apresentar uma matriz em que as fontes renováveis respondem por mais de 40% da energia primária, um valor sensivelmente superior à média mundial de 13% (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013). Não obstante a elevada parcela da energia primária brasileira gerada por fontes renováveis, este valor tem vindo a decrescer nas últimas décadas. Os EEZ apresentam um instrumento para permitir voltar a aumentar a parcela de fontes renováveis na matriz energética brasileira. Não só por promover o aumento da oferta de geração renovável, como modo de auxiliar a transição do setor do transporte privado para uma matriz renovável.



Adicionalmente às vantagens na geração renovável de energia, o Brasil apresenta a vantagem de consumos médios menores que os verificados em países desenvolvidos. Maior geração média aliada a menor consumo médio resulta em maior facilidade em atingir o balanço zero.

A escolha da definição local parece a mais adequada para promover a transição de matriz energética. Apesar da escolha mais comum na literatura recair na definição primária, a definição local induz maior eficiência energética, maior geração renovável, é mais facilmente implantada por ser mais clara e de mais fácil entendimento.

Dessa forma, são propostas as seguintes estratégias para uma política de promoção de EEZ no Brasil:

Fomentar a eficiência energética e a geração de energia renovável. Conseqüentemente, usar a definição local de edifício de energia zero como base da política energética. A definição local maximiza simultaneamente medidas de eficiência energética e geração renovável. Priorizar geração na área de implantação do edifício;

Enfocar primeiro os edifícios residenciais uni familiares. Para o setor comercial, analisar a realidade brasileira para identificar quais setores prioritários;

Incluir energia de transporte balanço energético para edifícios residenciais uni familiares. Conceber a política de EEZ prevendo integração com uma política “veículo para a rede” como base para o futuro crescimento de um parque automóvel elétrico. O aumento de veículos elétricos, por sua vez aumenta a segurança energética da rede pública de energia. Integrar os incentivos para EEZ com os incentivos ao uso da tecnologia “veículo para a rede”;

Permitir a venda de créditos de energia ao mesmo preço que a importação da mesma, para incentivar aumento de eficiência energética na busca da venda de créditos e aumento da geração renovável por parte dos cidadãos privados.



Integrar a política de EEZ e de transição de matriz, com uma política enfocando a disponibilidade de hidrocarbonetos para o setor industrial.

5. CONCLUSÕES

A literatura aponta a existência de EEZ desde o início da década de 1980. Os EEZ na década de 1980 resultavam de iniciativas singulares de privados ou da academia. Desde a década de 2000, no entanto, a adoção em larga escala é objetivo político de entidades governamentais e associações de profissionais.

Especificamente, os governos dos Estados Unidos e posteriormente da União Europeia iniciaram políticas de promoção de EEZ. As políticas de promoção de EEZ visam a sua adoção em larga escala. As políticas de promoção de EEZ estabelecem prazos específicos para a obrigatoriedade de EEZ. União Europeia e o Estado do Califórnia têm 2019 como data para obrigatoriedade de novos edifícios serem EEZ. Alguns países europeus anteciparam essa meta.

A promoção governamental para a obrigatoriedade de EEZ é uma resposta à transição de matriz energética e ao aquecimento global. O setor das edificações é o maior consumidor mundial de energia primária. O setor das edificações é responsável por 40% do consumo mundial de energia primária. Os EEZ, portanto, são peça fundamental para uma transição de matriz energética bem sucedida.

As transições de matriz energética apresentam riscos. A presente transição de matriz energética tem o risco adicional das novas fontes de energia apresentarem um retorno sobre energia investida menor que o petróleo. Adicionalmente, a transição ocorre durante um período de mudança climática, aumentando a complexidade da mesma.

A literatura mostra que o sucesso das transições de matriz energética depende da eficácia de políticas de apoio governamentais. Mostra também que o atual interesse por



EEZ decorre de políticas de promoção de EEZ nos Estados Unidos e União Europeia. Por esse motivo, os EEZ devem ser promovidos pela sua capacidade de auxiliar uma transição de matriz energética de sucesso.

Os EEZ devem ser vistos como um instrumento primordial de política energética. Dessa forma, as definições de EEZ podem variar conforme a política energética. A política energética norte americana está focada em segurança energética, visando garantir o fornecimento de energia de forma econômica e em larga escala. Dessa forma, os EEZ são designados de Edifícios de Energia Zero. A União Europeia está focada em mitigação do aquecimento global. Dessa forma, os EEZ são chamados de Edifícios de Carbono Zero.

EEZ são possíveis tecnicamente e economicamente atualmente em vários casos. A literatura aponta que EEZ devem ser edifícios extremamente energeticamente eficientes. Esse nível de eficiência é superior à maioria dos códigos de eficiência energética atuais, com a possível exceção da norma *Passivhaus*.

No entanto, existem dúvidas sobre a validade do modelo *Passivhaus* em climas quentes. Dessa forma, é necessário adaptar ou criar modelos de maior eficiência energética para climas quentes



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEKLETT, K.; HÖÖK, M.; JAKOBSSON, K.; et al. The Peak of the Oil Age - Analyzing the world oil production Reference Scenario in World Energy Outlook 2008. **Energy Policy**, v. 38, n. 3, p. 1398–1414, 2010.
- DE ALMEIDA, P.; SILVA, P. D. The peak of oil production--Timings and market recognition. **Energy Policy**, v. 37, n. 4, p. 1267–1276, 2009.
- ANDERSEN, P. H.; MATHEWS, J. A.; RASK, M. Integrating private transport into renewable energy policy: The strategy of creating intelligent recharging grids for electric vehicles. **Energy Policy**, v. 37, n. 7, p. 2481–2486, 2009.
- ANDERSSON, S. L.; ELOFSSON, A. K.; GALUS, M. D.; et al. Plug-in hybrid electric vehicles as regulating power providers: Case studies of Sweden and Germany. **Energy Policy**, v. 38, n. 6, p. 2751–2762, 2010.
- ATHIENITIS, A.; CANDANEDO, J.; O'NEILL, B. Solar Buildings Research Network Demonstration Projects: Towards net zero energy consumption. ,2009. Quebec. Disponível em: <http://web.me.com/sevagpogharian/alstonvale/Project_-_Academic_Papers_files/Solar%20Buildings%20Research%20Network%20Demonstration%20Projects_1.pdf>. .
- BECKEN, S. A critical review of tourism and oil. **Annals of Tourism Research**, v. 38, n. 2, p. 359–379, 2011.
- BRIDGE, G. Geographies of peak oil: The other carbon problem. **Geoforum**, v. 41, n. 4, p. 523–530, 2010.
- CARLISLE, N.; ELLING, J.; PENNEY, T. Renewable Energy Community: Key Elements. ,2007. National Renewable Energy Laboratory. Disponível em: <www.nrel.gov/vehiclesandfuels/hev/pdfs/42774.pdf>. .
- CHARRON, R.; ATHIENITIS, A. Design and Optimization of Net Zero Energy Solar Homes. **ASHRAE Transactions**, v. 112, n. 2, p. 285–295, 2006.
- CURTIS, F. Peak globalization: Climate change, oil depletion and global trade. **Ecological Economics**, v. 69, n. 2, p. 427–434, 2009.
- DALTON, G. J.; LOCKINGTON, D. A.; BALDOCK, T. E. Feasibility analysis of stand-alone renewable energy supply options for a large hotel. **Renewable Energy**, v. 33, n. 7, p. 1475–1490, 2008.
- DENG, S.; DALIBARD, A.; MARTIN, M.; et al. Energy supply concepts for zero energy residential buildings in humid and dry climate. **Energy Conversion and Management**, v. 52, n. 6, p. 2455–2460, 2011.
- DEVEZAS, T.; LEPOIRE, D.; MATIAS, J. C. O.; SILVA, A. M. P. Energy scenarios: Toward a new energy paradigm. **Futures**, v. 40, n. 1, p. 1–16, 2008.
- DUFO-LÓPEZ, R.; ZUBI, G.; FRACASTORO, G. V. Tecno-economic assessment of an off-grid PV-powered community kitchen for developing regions. **Applied Energy**, v. 91, n. 1, p. 255–262, 2012.
- DUTILH, C. E.; KRAMER, K. J. Energy Consumption in the Food Chain. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 29, n. 2, p. 98–101, 2000.



- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. ,2013. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2013_Web.pdf>. .
- ESBENSEN, T. V.; KORSGAARD, V. Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark. **Solar Energy**, v. 19, n. 2, p. 195–199, 1977.
- EUROPEAN PARLIAMENT. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. **Directive 2010/30/EU**, 18. Jun. 2010.
- FERRANTE, A.; CASCELLA, M. T. Zero energy balance and zero on-site CO₂ emission housing development in the Mediterranean climate. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 8, p. 2002–2010, 2011.
- FOSTER, R. JAPAN PHOTOVOLTAICS MARKET OVERVIEW. ,2005. Sandia National Laboratories. Disponível em: <<http://solar.nmsu.edu/publications/Japan%20Report.pdf>>. .
- FOUQUET, R. The slow search for solutions: Lessons from historical energy transitions by sector and service. **Energy Policy**, v. 38, n. 11, p. 6586–6596, 2010.
- FRIEDRICH, J. Global energy crunch: How different parts of the world would react to a peak oil scenario. **Energy Policy**, v. 38, n. 8, p. 4562–4569, 2010.
- GAGNON, L. Civilisation and energy payback. **Energy Policy**, v. 36, n. 9, p. 3317–3322, 2008.
- GOLDSTEIN, D. B.; BURT, L.; HORNER, J.; ZIGELBAUM, N. Zeroing in on Net-Zero Buildings: Can We Get There? How Will We Know When We Have Arrived? **ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings**, 2010.
- GRIFFITH, B.; TORCELLINI, P.; LONG, N.; CRAWLEY, D.; RYAN, J. Assessment of the Technical Potential for Achieving Zero-Energy Commercial Buildings. ,2006. Disponível em: <http://simulationresearch.lbl.gov/dirpubs/06ACEEE/06aceee_90.pdf>.
- HAAS, R.; NAKICENOVIC, N.; AJANOVIC, A.; et al. Towards sustainability of energy systems: A primer on how to apply the concept of energy services to identify necessary trends and policies. **Energy Policy**, v. 36, n. 11, p. 4012–4021, 2008.
- HAGER, T. J.; MORAWICKI, R. Energy consumption during cooking in the residential sector of developed nations: A review. **Food Policy**, v. 40, p. 54–63, 2013.
- HALL, C. A. S.; BALOGH, S.; MURPHY, D. J. R. What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have? **Energies**, v. 2, n. 1, p. 25–47, 2009.
- HAMADA, Y.; NAKAMURA, M.; OCHIFUJI, K.; YOKOYAMA, S.; NAGANO, K. Development of a database of low energy homes around the world and analyses of their trends. **Renewable Energy**, v. 28, n. 2, p. 321–328, 2003.
- HARTMANN, N.; ÖZDEMİR, E. D. Impact of different utilization scenarios of electric vehicles on the German grid in 2030. **Journal of Power Sources**, v. 196, n. 4, p. 2311–2318, 2011.
- HERNANDEZ, P.; KENNY, P. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). **Energy and Buildings**, v. 42, n. 6, p. 815–821, 2010.
- HOQUE, S. Net zero energy homes: An evaluation of two homes in the northeastern United States. **Journal of Green Building**, v. 5, n. 2, p. 79–90, 2010.



HORRIGAN, L.; LAWRENCE, R. S.; WALKER, P. How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. **Environmental Health Perspectives**, v. 110, n. 5, p. 445–456, 2002.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY.;ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **World energy outlook 2009**. Paris: IEA International Energy Agency ;OECD, 2009.

IQBAL, M. T. A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland. **Renewable Energy**, v. 29, n. 2, p. 277–289, 2004.

ISAMU, O. Zero Energy House. **Refrigeration**, v. 75, n. 869, p. 200–204, 2000.

KARBUZ, S. Pentagon and Peak Oil: A Military Literature Review | Energy Bulletin. Disponível em: <<http://www.energybulletin.net/node/18056>>.

KESSIDES, I. N.; WADE, D. C. Towards a Sustainable Global Energy Supply Infrastructure: Net Energy Balance and Density Considerations. **RSCAS Working Papers**, 2010. Disponível em: <<http://ideas.repec.org/p/rsc/rsceui/2010-72.html>> .

KHATIB, H. IEA World Energy Outlook 2010--A comment. **Energy Policy**, v. 39, n. 5, p. 2507–2511, 2011.

KISACIKOGLU, M. C.; OZPINECI, B.; TOLBERT, L. M. Effects of V2G reactive power compensation on the component selection in an EV or PHEV bidirectional charger. 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2010 - Proceedings. **Anais...** p.870–876, 2010. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-78650158636&partnerID=40&md5=25bd10cfb910fb43a0fe4f8218a4e093>>.

KJÄRSTAD, J.; JOHNSON, F. Resources and future supply of oil. **Energy Policy**, v. 37, n. 2, p. 441–464, 2009.

LAUSTSEN, J. Definition of Zero Energy Buildings. ,2009. Workshop, Washington. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/31739775/Definitions-Zero-Energy-Buildings>> .

LOVINS, A. The Negawatt Revolution -- Solving the CO-2 Problem --. Disponível em: <<http://www.ccnr.org/amory.html>>.

LOVINS, A. B. Negawatts: Twelve transitions, eight improvements and one distraction. **Energy Policy**, v. 24, n. 4, p. 331–343, 1996.

LUND, H.; KEMPTON, W. Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G. **Energy Policy**, v. 36, n. 9, p. 3578–3587, 2008.

MACALISTER, T. Peak oil alarm revealed by secret official talks | Environment | The Observer. Disponível em: <<http://www.guardian.co.uk/business/2010/aug/22/peak-oil-department-energy-climate-change>>.

MARSZAL, A. J.; HEISELBERG, P.; BOURRELLE, J. S.; et al. Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 4, p. 971–979, 2011.

MILLER, R. G. Future oil supply: The changing stance of the International Energy Agency. **Energy Policy**, v. 39, n. 3, p. 1569–1574, 2011.

MILLER, W.; BUYS, L. Post-occupancy Analysis of a Zero Energy Hojme (ZEH). Disponível em: <<http://eprints.qut.edu.au/38552/>>.



- MOE, E. Energy, industry and politics: Energy, vested interests, and long-term economic growth and development. **Energy**, v. 35, n. 4, p. 1730–1740, 2010.
- NEWELL, T.; NEWELL, B. Modeling zero energy. **ASHRAE Journal**, v. 52, n. 10, p. 65–68, 2010.
- NOBUO TANAKA. The end of oil? Disponível em: <http://www.iea.org/index_info.asp?ID=1928>. Acesso em: 7/5/2011.
- NORTON, P.; CHRISTENSEN, C. Performance Results from a Cold Climate Case Study for Affordable Zero Energy Homes. **ASHRAE Transactions**, v. 114, n. 1, p. 218–229, 2008.
- NORTON, P.; CHRISTENSEN, C.; HANCOCK, E.; BARKER, G.; REEVES, P. **The NREL/Habitat for Humanity Zero Energy Home: A Cold Climate Case Study for Affordable Zero Energy Homes**. National Renewable Energy Laboratory, 2008.
- PARKER, D. Very low energy homes in the United States: Perspectives on performance from measured data. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 5, p. 512–520, 2009.
- PETER NEWMAN. Beyond peak oil: Will our cities collapse? **Journal of Urban Technology**, v. 14, n. 2, p. 15–30, 2007.
- POGHARIAN, S. GETTING TO NET ZERO ENERGY FOOD: the Alstonvale Net Zero House. ,2008. Disponível em: <http://web.me.com/sevapgogharian/alstonvale/Lifestyle_-_Net_Zero_Food_files/Net%20Zero%20Energy%20Food.pdf>. .
- REYNOLDS, D. B. Energy Grades and Historic Economic Growth. Disponível em: <<http://www.oilcrisis.com/reynolds/EnergyGrades.htm>>. Acesso em: 8/4/2011.
- SARTORI, I.; NAPOLITANO, A.; VOSS, K. Net zero energy buildings: A consistent definition framework. **Energy and Buildings**, v. 48, n. 0, p. 220–232, 2011. .
- SCHULTZ, S. “Peak Oil” and the German Government: Military Study Warns of a Potentially Drastic Oil Crisis - SPIEGEL ONLINE - News - International. Disponível em: <<http://www.spiegel.de/international/germany/0,1518,715138,00.html>>.
- SEIFERT, R. D. Resurrecting the Nullenergihuset in Denmark. In: D. Y. Goswami; Y. Zhao (Eds.); **Proceedings of ISES World Congress 2007 (Vol. I – Vol. V)**. p.3047–3050, 2008. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/jt114707h4902133/>>.
- SOVACOOOL, B. K. Conceptualizing urban household energy use: Climbing the “Energy Services Ladder.” **Energy Policy**, v. 39, n. 3, p. 1659–1668, 2011.
- STEINBERGER, J. K.; VAN NIEL, J.; BOURG, D. Profiting from negawatts: Reducing absolute consumption and emissions through a performance-based energy economy. **Energy Policy**, v. 37, n. 1, p. 361–370, 2009.
- TAINTER, J. A. Sociopolitical Collapse, Energy and. **Encyclopedia of Energy**. v. 5, p.529–543, 2004. Elsevier Science.
- TAINTER, J. A. Energy, complexity, and sustainability: A historical perspective. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. In Press, Corrected Proof. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6KKF-51SPS7B-1/2/b845239ddc36a181bf21c1fcf2865ca7>>.



TORCELLINI, P.; SHANTI PLESS; DERU, M.; CRAWLEY, D. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. ,2006. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>>. .

WALLGREN, C.; HÖJER, M. Eating energy--Identifying possibilities for reduced energy use in the future food supply system. **Energy Policy**, v. 37, n. 12, p. 5803–5813, 2009.

WHITE, C. D.; ZHANG, K. M. Using vehicle-to-grid technology for frequency regulation and peak-load reduction. **Journal of Power Sources**, v. 196, n. 8, p. 3972–3980, 2011.

ZHU, L.; HURT, R.; CORREA, D.; BOEHM, R. Comprehensive energy and economic analyses on a zero energy house versus a conventional house. **Energy**, v. 34, n. 9, p. 1043–1053, 2009.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a ELETROBRAS pelo apoio financeiro e incentivo à pesquisa em eficiência energética em edificações.