



EDIFÍCIOS DE ENERGIA ZERO: DEFINIÇÕES, POLÍTICAS, EXEMPLOS

Miguel T. G. Pacheco (1); Roberto Lamberts (2)

(1) Doutorando do Departamento de Engenharia Civil – e-mail: miguel@labeee.ufsc.br

(2) Professor do Departamento de Engenharia Civil – e-mail: lamberts@labeee.ufsc.br

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Universidade de Santa Catarina, Brasil

RESUMO

O uso intensivo de combustíveis fósseis permitiu revolução industrial. No entanto, depois de dois séculos de uso, tais combustíveis estão esgotando-se e os efeitos ecológicos da utilização dos mesmos tornaram-se insustentáveis. Os edifícios consomem mais de um terço da energia primária mundial tendo que se adaptar a este novo cenário. O Edifício de Energia Zero (EEZ) surge como uma solução ao problema duplo da escassez de energia e das emissões de carbono no contexto do ambiente construído. Através de uma pesquisa bibliográfica da literatura internacional sobre EEZ objetiva-se a clarificação da sua definição, e um levantamento das políticas e as tecnologias utilizadas EEZ, com especial atenção aos climas quentes.

Palavras-chave: Edifícios de Energia Zero; Edifícios de Baixa Energia; Eficiência Energética.

ABSTRACT

The intensive use of fossil fuels allowed the industrial revolution. After two centuries of use such fuels are depleting and the ecological effects of its use have turned unsustainable. Buildings are responsible for a third of the world primary energy consumption needing to adapt to this new scenario. Zero Energy Buildings (ZEB) appears as a solution to the double issue of scarce energy and carbon emissions in the built environment context. A bibliographical review of ZEB is made with the aim of clarifying its definition and to map out policies and technologies related with special emphasis on hot climates.

Keywords: Zero Energy Buildings; Low Energy Buildings; Energy Efficiency.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Edifício de Energia Zero: Definição

Edifício de Energia Zero (EEZ) é aquele que, em média anual, gera, por meio de fontes renováveis, a totalidade da energia que consome. A definição pressupõe um edifício ligado à rede de energia, pois sua capacidade de geração não permite fornecer toda a energia necessária para períodos de maior consumo. Da mesma forma, quando a produção de energia no EEZ excede o seu consumo, a energia restante é exportada para a rede, de tal modo que o balanço líquido anual de energia tenha valor zero. EEZ solares aparecem nos Estados Unidos no princípio da década de oitenta do século passado, na forma de edifícios uni familiares (CHARRON, 2005). Atualmente, exemplos de EEZ ultrapassam o campo restrito dos edifícios uni familiares, havendo exemplos de conjuntos habitacionais no Reino Unido (BedZED, 2007), edifícios públicos (MEURER & ALIA, 1999) e, até mesmo, de cidades inteiras na Holanda (CHARRON, 2005).

Os edifícios respondem por um terço do consumo de energia primária mundial, sendo mais oitenta por cento da mesma proveniente de combustíveis fósseis (EIA, 2005). Os governos de vários países, para enfrentar o esgotamento dos combustíveis fósseis e as consequências ambientais insustentáveis decorrentes seu uso, vêm fomentando estudos e tecnologias que reduzam o consumo de energia dos edifícios e estimulem a geração de energia renovável.

Como exemplos de incentivo à redução do consumo de energia de edifícios cabe citar as normas canadense R2000 e a alemã *PassivHaus*, assim como os programas JOULE/THERMIE da União Européia e os concursos bi-anuais *Solar Decathlon* patrocinados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Como exemplo de programas de apoio à geração de energia renovável em residências, tem-se os programas japonês e alemão com subsídios à instalação de energia fotovoltaica. O EEZ está na intersecção dessas duas políticas, promovendo simultaneamente a redução do consumo de energia nos edifícios e o aumento da capacidade de energia renovável instalada.

1.2 EEZ: Definição ou definições?

1.2.1 Dificuldades de uma definição única de EEZ

No entanto, um estudo mais aprofundado da bibliografia constata que um edifício eficiente não se esgota em uma só definição (MEIER, OLOFSSON & LAMBERTS, 2002). Analogamente, segundo Torcellini & al. (2006), dentro da definição geral de EEZ, podem ser encontradas na literatura quatro definições distintas: energia local média zero (*net-zero site energy*), fonte de energia média zero (*net-zero source energy*), custo médio de energia zero (*net-zero energy costs*) e energia de emissão média zero (*net-zero energy emissions*). A tabela 1 apresenta uma síntese de cada uma das definições e das consequências advindas do uso de cada uma. Cada uma dessas diferentes definições mostra como o cerne do conceito do EEZ — edifícios que podem abastecer todas suas demandas energéticas com fontes de baixo custo, locais, não poluentes e renováveis — toma diferentes formulações conforme quem enxerga a questão.

1.2.2 Os vários degraus do EEZ

Igualmente segundo Torcellini & al. (2006), estas diferentes formulações, no entanto, não esgotam todo o problema da definição do EEZ, pois outras perguntas são necessárias para uma definição válida:

- Que se entende por energia renovável?
- Que entende por geração local?
- Existe uma hierarquia entre as fontes de energia renovável para uso em EEZ?

Tabela 1 – As quatro definições de EEZ encontradas na literatura

Definições	Vantagens da definição	Contras da definição
Energia Local Zero (net-zero site energy)	Facilmente mensurável lida no contador de eletricidade. Promove uma procura agressiva de eficiência gerada na implantação do edifício ou em toda a propriedade onde o mesmo se insere?	Difícil definir o local: inclui somente a energia gerada na implantação do edifício ou em toda a propriedade onde o mesmo se insere?
Energia Primária Zero (net-zero source energy)	Inclui os gastos com a transmissão da energia até ao edifício que a consome, exatamente os custos de visão sistêmica completa do edifício zero	Difícil mensurar transmissão em uma rede descentralizada.
Energia Líquida Zero (net-zero energy costs, net-zero utility cost, zero utility cost)	Torna a transição para EEZ mais fácil. Depende da adoção de tarifas diferenciadas por rede, pois as residências com geração hora do dia. Quanto solar exportam mais energia de dia mais edifícios se tornam para a rede quando o consumo geral é ECEZ, menor o maior, mas o consumo das residências é menor.	Depende da adoção de tarifas diferenciadas por rede, pois as residências com geração hora do dia. Quanto solar exportam mais energia de dia mais edifícios se tornam para a rede quando o consumo geral é ECEZ, menor o maior, mas o consumo das residências é menor.
Energia Emissão Zero (net-zero energy emissions)	Reduz emissões de gases de estufa	-

Nota: Baseado em Torcelini & al. (2006).

Na definição do que seja energia renovável, começa-se por exclusão de partes. Assim segundo Torcelini & al. (2006), não se podem considerar fontes renováveis de energia: Medidas de eficiência energética; Aparelhos de conversão de energia; Células de combustível e micro-turbinas; Uso de técnicas solares passivas.

A relação entre medidas de eficiência energética, projeto solar passivo e os EEZ, acontece antes do problema da fonte de energia renovável para o EEZ. Uma boa definição de EEZ deve primeiro incentivar a procura agressiva de medidas de eficiência energética (e que as mesmas estejam presente ao longo de toda a vida útil do edifício) para depois abordar a questão da fonte de energia renovável.

O problema da geração local apresenta várias facetas. Primeiro, definir exatamente o que se considera como local: o edifício ou todo o terreno no qual o mesmo está implantado. Segundo o mesmo princípio usado para as medidas de eficiência (garantir que as fontes de geração estejam presentes ao longo da vida útil do edifício) é a implantação do edifício, e não a totalidade do terreno, que oferece mais garantias de estar disponível durante todo o ciclo de vida do mesmo.

Em segundo lugar, a geração de energia local não reconhece duas realidades distintas. Tanto um gerador a álcool ou biodiesel quanto um painel solar geram energia renovável localmente, mas no primeiro caso, a captação dessa energia (álcool ou biodiesel) ocorre possivelmente fora do terreno do edifício e, com certeza, fora da implantação do mesmo, enquanto o painel solar capta e gera a energia no próprio local.

Essas duas facetas geram, naturalmente, uma hierarquia entre as fontes de geração de energia renovável. Uma fonte de energia renovável que capte e gere a sua energia na implantação do edifício apresenta vantagens sobre todas as outras fontes (energia solar: térmica e FV). Uma fonte de energia que capte e gere a sua energia no terreno (eólica, micro-hidro) tem vantagens sobre uma fonte que gere a sua energia na implantação, mas faça a captação da mesma fora do local, devido aos custos agregados de transporte (geradores a álcool, biodiesel e biomassa). Desta forma, segundo Torcelini et al. (2006)

deve-se encarar os EEZ como uma realidade com vários níveis da qual o grau zero é a eficiência energética.

1.2.3 EEZ e Edifícios de Baixa Energia

Este entendimento implica uma relação entre EEZ com Edifícios de Baixa Energia (EBE). Os EBE são edifícios que almejam uma redução significativa no seu consumo de energia comparados com edifícios convencionais. Um exemplo de EBE são os edifícios construídos de acordo com a norma *PassivHaus*. Por sua vez, um dos objetivos da norma *PassivHaus* é reduzir o consumo de energia de tal forma que as necessidades restantes de energia possam ser supridas através de sistemas renováveis de geração de energia.

2 OBJETIVO E METODOLOGIA

O objetivo deste artigo é apresentar uma revisão bibliográfica sobre o tema dos EE: Esta revisão enfoca uma análise da definição do conceito de EEZ; Relaciona o conceito de EEZ com EBE; Dá exemplos de políticas de promoção de EEZ e EBE; Apresenta exemplos mundiais de EEZ e EBE; Aborda o conceito EEZ nos contexto do setor comercial e industrial; Relaciona EEZ e EEB com diferentes climas; Menciona algumas das tecnologias úteis no contexto EEZ e EBE e aborda o problema dos custos dos EEZ.

3 POLÍTICAS PARA EEZ

3.1 Os EEZ nos EUA

Nos Estados Unidos, o Departamento de Energia (DoE) lança, em 1º de janeiro de 2000, um plano (*Zero Net Energy Buildings Outreach and Action Plan*, 2000) para a expansão dos EEZ, com a idéia de combinar energia solar com construção energeticamente eficiente, para ajudar a criar uma nova geração de edifícios rentáveis que tenham uma necessidade média anual zero de energia fósseis. Este plano pretende atingir três objetivos chave em 2020: Construir 100 000 casas energia zero economicamente acessíveis por ano; Construir 20 000 EEZ rentáveis como escolas, escritórios e outros edifícios não residenciais; Atingir consumo Zero Energia em todos os novos edifícios federais.

Para atingir tais objetivos, planeja trabalhar com a indústria de construção, incentivando a mesma através de subsídios e concursos. Um dos concursos é o Solar Decathlon, onde bi anualmente dez projetos de residências energeticamente eficazes, escolhidos por concurso público, recebem financiamento para a construção e apoio para a construção.

Para tanto, o DoE e o National Renewables Energy Laboratory (NREL) lançam uma série de documentos adicionais e complementares, abordando questões práticas de implementação. Para facilitar comparação dos resultados dos diferentes projetos, criou-se um formulário padrão para a apresentação dos seus respectivos resultados (HENDRON et al., 2004). O NREL detalhou uma série de objetivos detalhados de eficiência energética a atingir para garantir que o programa *Building America* apresentasse metas claras (HENDRON et al., 2005).

3.2 Os EEZ no Japão

O caso japonês destaca-se pelo fato de oferecer produtos disponíveis em massa no mercado ao invés de fomentar projetos de demonstração (CHARRON, 2005). Desde 1976, o governo japonês incentiva a instalação de painéis solares nas residências com o projeto Sunshine (FOSTER, 2005). Em 1994, o programa foi remodelado, com o objetivo de aumentar o número de painéis solares instalados nos telhados em residências japonesas. O programa começou cobrindo 50% dos custos de instalação de painéis solares fotovoltaicos, reduzindo-se esse valor gradualmente até acabar no ano de 2006. Durante o citado período, essa iniciativa instalou painéis em 70.000 habitações, tornando o Japão líder mundial em capacidade instalada, primeiro produtor global de células fotovoltaicas. O custo dos

painéis desceu 75% e a indústria nipônica de construção civil lidera a oferta mundiais de casas pré-fabricadas com painéis solares (CHARRON, 2005).

Adicionalmente, segundo Foster (2005) dada a política tarifária de eletricidade vigente no Japão, há residências que, embora não atinjam a marca do EEZ, tornaram-se Edifícios de Custo de Energia Zero. Estas residências vendem eletricidade de dia a um preço alto (quando o consumo residencial tem menor valor, mas o consumo global tem valor maior e os painéis solares estão funcionando) e comprar eletricidade da rede a um custo inferior no período da noite, quando o consumo caseiro pode aumentar e os painéis solares não geram energia. Em termos econômicos, a política de tarifas diferenciadas por período do dia forma a base do sucesso do programa japonês. No período compreendido entre 7 e 23h, a compra e venda de eletricidade faz-se a 26 yen/kWh. Das 23 até 7h: compra e venda dá-se a 6 yen/kWh. Esta política motiva simultaneamente a redução de consumo nas horas de pico e a geração própria para conseguir atingir a marca dos EEZ.

Foster (2005) apresenta o seguinte raciocínio; a casa típica japonesa consome 10 750 kWh. Medidas de eficiência energética e coletores solares térmicos reduzem o consumo em um terço, restando 7 167 kWh. Transferindo 40% do consumo para a noite e se 5000 kWh forem gerados por um sistema FV de 5 kWh, então um crédito de 1000 yen por ano pode ser gerado mesmo que a casa, em termos líquidos, consuma 2 167 kWh. Outro fator do sucesso do programa japonês segundo Foster (2005) está na difusão da pré-fabricação na indústria de construção japonesa, à qual os produtores de FV se aliaram para integrar os módulos em sistemas pré-fabricados reduzindo custos.

3.3 EEZ Canadá

Dada a latitude e o clima do Canadá, a construção de EEZ implica lidar com condições climáticas adversas e extremas. Não obstante, no campo dos edifícios residenciais, quatro programas e iniciativas diferentes apontam para EEZ: o *Advanced House Program*; *R&D on the Optimization of Low Energy Solar Homes in Canada*; o *Solar Buildings Network* e o *Net-Zero Energy Home Coalition*

3.3.1 História e contexto canadenses de programas de eficiência energética

O *Natural Resources Canada* (NRCan) teve um papel pioneiro, iniciando nos anos setenta programas de eficiência energética para residências (R2000A, 2006). Após esses programas pioneiros, inicia-se, em 1981, o programa R2000, que teve o seu início como projeto do conjunto do NRCan com o *Canadian Home Builders Association*. A adesão ao programa R2000 no Canadá tem caráter voluntário e as suas exigências ultrapassam os regulamentos obrigatórios (R2000B, 2006). O standard R2000 passa por revisões periódicas, tornando os requisitos de eficiência energética mais estritos. Atualmente, faz exigências tanto quanto à qualidade do ar nas residências, quanto em relação à sustentabilidade ecológica da construção. Construíram-se residências no Japão, Estados Unidos, Polônia, Rússia, Alemanha e Reino Unido segundo o standard R2000.

3.3.2 Advanced Houses Program

No início dos anos noventa, o NRCan lançou o *Advanced Houses Program* com o objetivo de desenvolver e testar métodos inovadores para reduzir o consumo de energia, melhorar a qualidade interna do ar nas residências e reduzir o impacto ambiental das mesmas. Segundo Charron (2005), tal como o R2000, este programa define padrões a atingir, em vez de prescrever soluções. No entanto, as metas de eficiência energéticas ultrapassam os do standard R2000, pois além da energia usada para climatização e aquecimento de água, o programa contabiliza o total de energia comprada. Tem por objetivo atingir metade do consumo de energia de uma típica casa R2000 e um quarto da energia e metade da água de uma casa convencional (CHARRON, 2005)

3.3.3 Outros programas canadenses sobre EEZ

Adicionalmente, segundo Charron (2005), mais dois programas visam a alcançar a meta dos edifícios zero: um programa do NRCan chamado *R&D on the Optimization of Low Energy Solar Homes in Canada*, que objetiva conseguir casas zero energia com fontes de energia solar. Por sua vez, o departamento CANMET, do *Energy Technology Centre* em Varennes que começou um projeto

plurianual (com financiamento do programa canadense para a mudança de clima) para dar suporte ao desenvolvimento e otimização de softwares de simulação, analisando igualmente todas as tecnologias existentes e emergentes no campo dos edifícios zero.

Finalmente, em 2004, o *Net-Zero Energy Home Coalition*, um grupo de construtores e entidades ligadas ao desenvolvimento de redes descentralizadas de energia começaram a debater como o fornecimento de energia para residências poderia ser feito de forma sustentável, que minimizasse a emissão de gases do efeito de estufa e criasse comunidades mais verdes e saudáveis. O grupo concluiu que as tecnologias existentes de geração renovável e de eficiência de energia já permitiam residências que não consumissem energia em termos médios anuais, reduzindo assim, de forma significativa, a emissão de gases de efeito de estufa (NET ZERO ENERGY HOME, 2006). Charron (2005) defende que EEZ nas condições climáticas canadenses estão além da tecnologia atual, no entanto, Iqbal (2003) defende através de simulações que EEZ seria possíveis em na província de NewFoundLand no Canadá usando energia eólica.

3.4 EEZ na União Européia

A União Européia, através da Direção Geral XVII (DG XVII), mantém os programas JOULE/THERMIE sobre energias renováveis desde 1994. Referidos programas realizam pesquisa e desenvolvimento acerca de energia renovável (Programa JOULE) e eficiência energética (Programa THERMIE). Dentro desses dois programas há uma série de programas específicos de pesquisa sobre vários temas. Dentro dos programas JOULE/THERMIE, há o programa CEPHEUS (2006), que fez a monotorização, entre 1998 e 2001, de um conjunto de cerca 250 habitações construídas de acordo com a norma PassivHaus em sete países europeus. A norma PassivHaus foi criada pela Universidade de Darmstad, na Alemanha, e visa a orientar o projeto de um edifício de forma a que a climatização do mesmo seja feita somente por métodos passivos. A monotorização mostra que, para um clima europeu moderado (entendido como o clima centro-europeu), a norma atinge os seus objetivos com custos de zero a dezesete por cento mais caros que um edifício convencional.

3.5 EEZ e IEA

A Agência Internacional de Energia é um organismo internacional, formado pelos governos vinte e seis países, fundado em 1973 com o objetivo de coordenar as medidas dos países membros em casos de problemas no fornecimento de petróleo. Atualmente este órgão funciona como perito na área de energia, ajudando na definição de políticas energéticas que permitam garantir energia de forma confiável, acessível economicamente e ecologicamente limpa (IEA, 2007).

Como parte desse objetivo, a IEA patrocina vários projetos de pesquisa sobre diversos temas energéticos, alguns deles de relevância para o tema EEZ. A organização dessa pesquisa funciona por grandes temas, como aquecimento e arrefecimento solar (IEA SHC, 2007), conservação de energia em edifícios e comunidades (ECBCS, 2007), energia solar térmica e química (SolarPACES, 2007), gerenciamento de redes de energia sob o prisma da demanda (IEA DSM, 2007), programa de sistemas de energia fotovoltaica (IEA PVPS, 2007). Cada um desses grupos temáticos coordena um conjunto programas de pesquisa sobre sub-temas relevantes. Cada um destes programas de pesquisa sobre sub-temas leva o nome de tarefa (task) ou anexo (annex). Esses programas de pesquisa funcionam coordenando vários centros nacionais de pesquisa.

Como exemplos, somente dentro do grupo aquecimento e arrefecimento solar (IEA SHC) encontram-se a task 31 (iluminação natural para edifícios no século XXI), task 33 (energia solar térmica para processos industriais), a task 35 (sistemas solares fotovoltaicos e térmicos) e a task 37 (reforma avançada de residências para fins solares e de conservação), todos os temas pertinentes à problemática dos EEZ. Note-se que tasks de dois grupos diferentes com objetivos paralelos podem formar grupos comuns, como, por exemplo, a referida task 33 do grupo IEA SHC, que se junta à task 4 do grupo SolarPACES formando o grupo IEA SHIP (IEA Solar Heat for Industrial Processes, 2007).

Vinte e dois projetos de demonstração foram construídos como parte da Tarefa 28 da IEA SHC em onze países.

4 EXEMPLOS DE EEZ

4.1 Comerciais

Os EEZ não param no contexto residencial e têm aplicação no contexto comercial, uma vez que as mesmas questões energéticas os afetam: O crescimento do consumo de energia é maior no setor comercial com o valor de 1,6%, o dobro do setor residencial nos EUA (GRIFFITH et al, 2006); Consumo elétrico no setor comercial nos EUA dobrou de 1980 a 2000, prevendo-se um crescimento de mais 50% até 2025 (EIA apud TORCELLINI et al., 2006).

Assim, embora a maioria dos exemplos de EEZ seja de edifícios residenciais, edifícios comerciais também pode transformar-se em EEZ. Griffith et al. (2006) apresentam um estudo sobre a viabilidade de EEZ para o setor comercial dos Estados Unidos como um todo (incluindo todas as regiões bioclimáticas dos EUA).

Segundo os autores, partindo de edifícios que cumprem o *Standard 90.1-200* da ASHRAE, ocupando 50% da área de cobertura com painéis solares já em 2005, 5% dos edifícios comerciais dos EUA poderiam tornar-se EEZ. Se fossem aplicadas as tecnologias mais avançadas de 2005 e os edifícios alongados nos sentido este-oeste para maximização de iluminação natural, 23% dos edifícios comerciais dos EUA poderiam transformar-se em EEZ. Em 2025, prevendo painéis fotovoltaicos com 20% de eficiência, redução de consumo de elevadores e todos os aparelhos ligados as tomadas dos edifícios, então 59% dos edifícios comerciais do EUA poderiam transformar-se em EEZ. Os autores afirmam que se a energia excedente fosse exportada para a rede, o conjunto dos edifícios comerciais dos EUA podem transformar-se em exportadores líquidos de energia, gerando mais 37% mais que o seu consumo.

4.2 Industriais

Edifícios industriais apresentam mais dificuldades para atingirem a meta EEZ, uma vez que apresentam usualmente maiores consumos de energia. No entanto, é possível reduzir o consumo de energia de edifícios industriais através do uso de energias renováveis geradas no próprio edifício. Uma primeira aplicação de energia está na climatização do edifício mas, sistemas solares térmicos podem fornecer energia para os processos industriais.

Segundo Schnitzer, Brunnera & Gwehenberger (2007). Um sistema industrial de energia compõe-se dos seguintes sub sistemas: O suprimento de energia (vapor, calor direto, fluídos quentes e frios, gases e eletricidade); O uso da energia; Possíveis sistemas de recuperação de energia; Possíveis sistemas de resfriamento.

Dentro desses quatro sub-sistemas, quase todos os setores industriais usam processos de baixa energia (entre 20 e 200 C). A tecnologia solar térmica pode atingir essas temperaturas, mesmo em países de climas mais moderados, como a maioria dos países industrializados. Assim, a energia solar térmica pode servir para reduzir o consumo de energia e emissões dos processos industriais. Convém clarificar que estas conclusões referem-se à Áustria. O Brasil, dada a sua localização predominantemente tropical, apresenta uma vantagem acresida no uso industrial de energia solar térmica.

4.3 EEZ e EBE perante diferentes climas

A maioria dos programas de eficiência tiveram a sua gênese em países de climas mais frio como R2000 e o *PassivHause* assim como a pesquisa de meios renováveis desta forma a maioria dos exemplos de EEZ localizam-se em países de clima frio. A estratégia básica para EEZ e EBE em climas frios consiste na atenção ao isolamento térmico do envelope, tornar o edifício o mais possível estanque para evitar perdas de calor controlando entradas de ar com recuperação de calor na saída.

Por oposição, a tecnologia para construção de EEZ em clima quentes parece não estar tão dominada como no caso de climas frios. Filippin & Beascochea (2007) apresentam os resultados do monitoramento de cinco edifícios de baixa energia residenciais e não residenciais. Localizados no interior da Argentina, estes edifícios estão inseridos em um clima com verões quentes e invernos frios. Nestas condições climáticas, os autores reportam que a maioria dos edifícios obteve consumos

energéticos menores que as normas *Passivhaus* e *Minergie*. Não obstante conseguir desempenhos tão consideráveis para o frio, os autores afirmam que o sobre aquecimento foi um problema no verão e que o problema do calor não foi resolvido.

O problema de como se livrar do calor é, portanto, importante para em EBE e EEZ em clima quentes. Desta forma, como parte de um programa indiano que visa a criação de modelos EEZ para a Índia, Kumar, Sachdev & Kaushik (2007), testam modelos e edifícios de contato dinâmico com o solo, concluindo que esta tecnologia é valida para promover conservação de energia especialmente na redução dos picos de consumo de energia no verão em ambientes urbanos.

Outra hipótese de lidar com o problema do calor em EBE e EZZ para climas quentes está na utilização de sistemas de climatização que consumam menores quantidades de energia. Desta forma, Vangtook & Chirarattananon (2006) testam um sistema de resfriamento radiante para a Tailândia afirmando que o mesmo é capaz de criar condições de conforto térmico em residências. Kim & al. (2005) simulando um sistema radiante de refrigeração para um escritório no em Tóquio no Japão, comparando os resultados com um sistema radiante com ventilação natural e um sistema de condicionamento de ar, mostram que o sistema radiante como uma alternativa muito eficiente em termos de energia.

Uma terceira estratégia está em impedir que o calor externo entre nos edifícios. Chow, He & Ji (2007) ao apresentar os resultados do estudo de uma fachada mista Fotovoltaica/Térmica, salientam uma redução de 50% na carga necessária para refrigerar o ar no período de pico no verão calor esse transferido para a água, reduzindo desta forma não só o consumo de energia para aquecimento de água como reduzindo o consumo de energia de sistemas de climatização.

4.4 O desafio da mudança climática para EEZ e EBE

A separação em climas quentes e frios, no entanto, pode-se mostrar ultrapassada perante o aquecimento global. Holmes & Hacker (2007) afirmam que o aquecimento global provoca verões mais quentes e que essas condições criam um problema para o projeto de EBE no século XXI, uma vez que estes almejam a redução do uso de sistemas ativos de climatização. Tal redução torna mais difícil atingir o conforto térmico perante o aumento esperado das temperaturas externas e a variação acrescida das mesmas. Os autores sugerem quatro estratégias para lidar com esta questão: Sombreamento para reduzir ganhos internos; Espalhar ganhos de calor através de massa térmica para reduzir pico; Uso de estratégia apropriada de ventilação natural como arrefecimento noturno; Usar resfriamento somente quando necessário, com sistemas mistos ou estáticos, como vigas ou tetos refrigerados para limitar as temperaturas de pico pode ser uma estratégia eficiente e sustentável.

4.5 Custos da construção de EEZ e EBE

Os custos de construção dos EEZ e EBE podem ser mais elevados que edifícios convencionais. Schnieders & Hermelink (2006) afirmam que um EBE que cumpre a norma *PassivHaus* tem um custo 10% superior. Filippin & Beascochea (2006) ao monitorarem cinco EBE residenciais e não residenciais reportam um custo de construção 3 % maior que edifícios convencionais.

O caráter pioneiro dos EEZ e EBE explica em parte os seus custos mais elevados de construção. No entanto, nem sempre os EEZ e EBE apresentam custos mais elevados que edifícios condicionais. (20 suecos) relata a construção e monotorização de 20 EBE residenciais na Suécia cujo custo de construção foi igual ao de construções convencionais. Tal ocorreu, pois a elevação de custo decorrente de isolamento e estanqueidade maiores destes EBE foi compensada pela redução de custos decorrente não ter um sistema de aquecimento.

Anderson, Christensen & Horowitz (2006) apresentam um método que determina o caminho de menor custo para construção de EEZ residenciais. Este método leva em conta localização geográfica e preço da energia.

Segundo Karlsson & Moshfegh (2007) o *payback* dos EBE mais caros que edifícios convencionais depende da evolução futura do preço da energia e do termo de comparação usado como referência. No exemplo de um EBE na Suécia que os autores apresentam, sem aumento de preço de energia o *payback* é de 19,5 anos. Para aumentos de preço de energia de 2% e 5 %, o *payback* baixa para 16 e 14

anos, respectivamente. Se o padrão for um edifício antigo com menor isolamento o payback *baixa* para 10 anos.

5 CONCLUSÕES

Os EEZ são possíveis hoje, em um número crescente de contextos e climas. Tecnologicamente, a expansão do número de EEZ passa tanto pela criação de novas tecnologias como pela integração de tecnologias existentes, que permitem, nas condições atuais, a construção de EEZ já para uma parcela significativa de setores e climas.

A tecnologia de EEZ para climas frios parece mais avançada que para climas quentes, embora o problema do calor para os EEZ se torne cada vez mais importante para os EEZ independentemente de clima devido ao aquecimento global.

A literatura mostra que o custo de construção dos EEZ não é significativamente maior que edifícios convencionais podendo ter um EEZ custo igual a um edifício convencional. O custo operacional tende a ser menor dado o menor consumo de energia.

O EEZ não deve ser visto como uma noção monolítica e apresenta nuances dependendo do enfoque de quem aborda a questão. A base de um EEZ é a procura agressiva de eficiência energética. Desta forma EEZ e EBE partilham uma base comum.

6 REFERÊNCIAS

- ANDERSON, R.; CHRISTENSEN C.; HOROWITZ, S.. **Analysis of Residential System Strategies Targeting Least-Cost Solutions Leading to Net Zero Energy Homes**. 2006. Disponível em <http://www.netzeroenergyhome.ca/downloads/DOE ZEH analysis.pdf>, Acesso em: 10 jan. 2007.
- BedZED, site do empreendedor, disponível em:
<http://www.peabody.org.uk/pages/GetPage.aspx?id=179>, Acesso em: 10 fev. 2007.
- CHARRON, Remi. **A Review Of Low And Net-zero Energy Solar Home Initiatives**. 2005. Disponível em: <http://cetc-varennes.nrcan.gc.ca/fichier.php/39126/2005-133_e.pdf>. Acesso em: 8 agosto 2007.
- CEPHEUS, disponível em: <http://www.cepheus.de/eng/index.html>, acessado em dezembro 2006
- CHOW T.T.; HE, W; JI, J.. An experimental study of façade-integrated photovoltaic/water-heating system. **Applied Thermal Engineering**. n. 27, p.37-45, 2007.
- FILIPPÍN, C.; BEASCOCHEA, A.. Performance assessment of low-energy buildings in central Argentina, **Energy and Buildings**. v. 39, n. 5, p. 546-557, May 2007
- FOSTER, Robert. **Japan Photovoltaic's Market Overview**. 2005. Disponível em:
<<http://solar.nmsu.edu/publications/Japan%20Report.pdf>>. Acesso em: 2 agosto 2007.
- GRIFFITH, Brent; TORCELLINI, Paul; LONG, Nicholas; CRAWLEY, Drury; RYAN, John. **Assessment of the Technical Potential for Achieving Zero-Energy Commercial Buildings**. 2006. Acesso em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39830.pdf>>. Acesso em: 11 agosto 2007.
- HENDRON, R., ANDERSON, R., JUDKOFF, R., CHRISTENSEN, C., EASTMENT, M., NORTON, P., REEVES, P., HANCOCK, E. 2004. Building America Performance Analysis Procedures, disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35567.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2006
- HENDRON, R.; ANDERSON, R.; CHRISTENSEN, C.; EASTMENT, M.; REEVES P.. Development of an Energy Savings Benchmark for All Residential End-Uses Updated December 29, 2004 february 2005, disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/fy05osti/37529.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2006.
- IEA Demand-Side Management Programme, site da instituição, disponível em: <http://dsm.iea.org/>, . Acesso em: janeiro 2007

IEA Energy Conservation In Buildings And Community Systems, site da instituição, disponível em:<http://www.ecbcs.org/>, . Acesso em: janeiro 2007

IEA Solar Heating and Cooling, site da instituição, disponível em: <http://www.iea-shc.org>. Acesso em: janeiro 2007.

IEA Solar Power and Chemical Energy Systems, site da instituição, disponível em: <http://www.solarpaces.org>. Acesso em: janeiro 2007.

IEA Photovoltaic Power Systems Programme, site da instituição. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org>. Acesso em: janeiro 2007.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY, site da instituição, disponível em: <http://www.iea.org/Textbase/about/index.asp> , . Acesso em: janeiro 2007.

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

KARLSSON, J.F.; MOSHFEGH, Bahram. A comprehensive investigation of a low-energy building in Sweden. **Renewable Energy**, n. 32, p. 1830-1841, 2007.

KIM , Taeyeon; KATO , Shinsuke; MURAKAMI, Shuzo; RHO, Ji-woong. Study on indoor thermal environment of office space controlled by cooling panel system using field measurement and the numerical simulation. **Building and Environment**. n. 40, p. 301-310, 2005.

KUMAR, Rakesh; SACHDEVA, Shweta; KAUSHIK, S.C.. Dynamic earth-contact building: A sustainable low-energy technology. **Building and Environment**. n.42, p. 2450–2460, 2007.

MEIER, Alan; OLOFSSON, Thomas; LAMBERTS, Roberto. What is an energy-efficient building?. Brasil - Foz de Iguaçu, PR. 2002. p. 3-12. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Artigo Técnico.

MEURER, C.; BARTHELS, H.; BROCKE, W. A.; EMONTS, B.; GROEHN, H. G.. Phoebus — an autonomous supply system with renewable energy: six years of operational experience and advanced concepts. **Solar Energy**, v. 67, Nos. 1–3, p. 131–138, 1999

SCHNIEDERS, Jurgen; HERMELINK, Andreas. CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. **Energy Policy**, n. 34, p. 151–171, 2006.

SCHNITZER, Hans; BRUNNERA, Christoph; GWEHENBERGER, Gernot. Minimizing greenhouse gas emissions through the application of solar thermal energy in industrial processes. **Journal of Cleaner Production**. v.15, n. 13-14, p. 1271-1286, setembro 2007.

TORCELLINI, P.; PLESS, S.; DERU, M.; CRAWLEY, D.. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. 2006. Disponível em: www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf , Acesso em: 10 dez. 2007

VANGTOOK, Prappong; CHIRARATTANANON, Surapong. An experimental investigation of application of radiant cooling in hot humid climate. **Energy and Buildings**, n. 38, p. 273-285, 2006.

Zero Net Energy Buildings Outreach and Action Plan. 2000. Disponível em: www.eere.energy.gov/buildings/info/documents/pdfs/zne.pdf. Acesso em: 10 dez. 2007.