UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CB3E

centro brasileiro de eficiência
energética em edificações

cb3e.ufsc.br

Estado da arte em eficiência energética: iluminação e envoltória

João Lorenço Novaes Pessoa
Enedir Ghisi
Roberto Lamberts

Florianópolis, julho de 2013

LabEEE PROCEL EDIFICA Eletrobras FEESC

RESUMO

Os combustíveis fósseis são as principais fontes de energia para a população humana, com destaque para o carvão e o petróleo. Após as sucessivas crises do petróleo ocorridas nas últimas décadas e constantes ameaças à sua produção nos principais países exportadores, mostrou-se necessário repensar o modo como a energia é utilizada para os fins humanos. Isto levou a um esforço conjunto dos governos de muitos países para incentivar novas fontes de energia e o seu uso racional. A Agência Internacional de Energia (2010), estima que até 2050 o setor de edificações possa economizar energia equivalente a até 1509 milhões de toneladas de petróleo, se políticas de eficiência energética forem implementadas com sucesso. Por isso, o uso racional de energia neste setor é uma das 25 medidas recomendadas pela agência para atingir as metas de redução mundial de uso de energia e emissões de dióxido de carbono.

O objetivo deste trabalho é verificar o estado da arte de eficiência energética em iluminação e envoltória em edificações e elaborar recomendações de medidas necessárias para que se avance nesta área no Brasil. Através de uma revisão de literatura e de *roadmaps*, será apresentado um panorama do debate global a respeito deste assunto e as conclusões e recomendações para o caso brasileiro.

As principais conclusões são as seguintes:

O Brasil têm a oportunidade de focar no controle do consumo energético das edificações que virão a ser construídas, para evitar o problema mais complexo de reforma de edificações ineficientes no futuro, que é enfrentado atualmente por outras economias. O setor de edificações no Brasil é responsável por aproximadamente 14% do consumo final de energia, incluindo todas as fontes de geração. Quando analisada a participação do setor no consumo de energia elétrica apenas, o valor é de aproximadamente 46,9%. Em outras grandes economias, como União Europeia e Estados Unidos o setor de edificações responde por uma fatia bem maior do consumo final de energia, chegando próximo de 40% de toda a energia gerada, e próximo de 70% de toda a energia elétrica. Na China, o setor responde por aproximadamente 30% de toda a energia gerada. Nota-se que o consumo de energia do setor de edificações no Brasil corresponde a uma percentagem menor do consumo final de energia em relação a estes outros países. Estes números demonstram o potencial do Brasil para controlar o mercado de novas edificações. Nestas outras economias são feitos grandes esforços em reformas de edificações já existentes, por processos bastante complexos para reduzir seu consumo de energia. Neste sentido, a obrigatoriedade da etiquetagem de edificações, obedecendo aos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios (RTQ) pode desempenhar um papel de fundamental importância para a mudança da qualidade do setor de edificações brasileiro.

No setor de iluminação, o Brasil está em dia com a pauta de eficiência energética internacional. O Brasil apresenta regulamentação para inibir o uso de produtos ineficientes, como lâmpadas incandescentes, e controlar a qualidade de produtos eficientes, como lâmpadas fluorescentes. A produção destes produtos é feita em sua maior parte na China. Naquele país existem normas de qualidade a serem seguidas pelos produtores, porém a fiscalização deficiente torna estas normas ineficazes na prática. Esforços de

regulamentação a nível internacional vêm sendo feitos para aumentar o controle sobre a qualidade dos produtos de forma harmônica, visto que a regulamentação em países importadores tem apenas efeito indireto sobre a produção.

Nota-se que o Brasil não exerce ainda o controle sobre muitos aspectos de qualidade dos produtos de iluminação como fazem a maior parte dos países, como índice de reprodução de cores, temperatura de cor e manutenção de cor. A norma NBR 5413 (Iluminância de interiores) foi recentemente substituída, em 31 de março de 2013, pela NBR ISO/CIE 8995-1 (Iluminação de ambientes de trabalho). Esta modificação visa harmonizar a norma brasileira com a internacional ISO 8995 (*Lighting of work places*). Nesta nova versão serão estipulados não apenas níveis mínimos de iluminâncias na área de tarefa, mas também valores máximos para ofuscamento, valores mínimos para o índice geral de reprodução de cores, recomendações de projeto para o tratamento da luz natural e recomendações quanto à manutenção.

A avaliação e etiquetagem do sistema de iluminação artificial é contemplada pelo RTQ (Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais). Alguns conflitos entre o RTQ-C e as práticas de mercado em projetos de iluminação foram reportadas. O método de avaliação do RTQ-C avalia com notas ruins projetos que usem luminárias com aletas, equipamentos necessários ao conforto visual. O mesmo problema ocorre para ambientes multifuncionais que têm uma grande potência de iluminação instalada para atender a mais de uma função, ainda que toda a iluminação não seja utilizada ao mesmo tempo. Um terceiro problema notado se refere à pouca atenção do RTQ-C ao aproveitamento da luz natural, que só é contemplada ao exigir um circuito de acionamento independente para as luminárias próximas das aberturas.

A tecnologia LED (*Light-emitting diode*) já se mostra uma melhor opção de iluminação para diversas finalidades, porém ainda apresenta problemas de qualidade para a realização de tarefas visuais no interior de edificações. Globalmente se discute a inserção da nova tecnologia LED no mercado, que promete ser mais eficiente que as disseminadas lâmpadas fluorescentes. Estudos feitos nos Estados Unidos, um dos principais investidores no desenvolvimento da tecnologia (o país investe uma boa parte do fundo de reinvestimento das empresas de energia na pesquisa em LED), reforçam que o LED já está pronto para comercialização. No setor residencial americano, a estimativa é de que os LEDs tenham aproximadamente 70% do mercado em 2030, em lumens-hora consumidos. Se a expectativa do DOE (Departamento de Energia dos Estados Unidos) de inserção de LEDs no mercado for realizada, as economias de energia no setor de iluminação chegariam a 67% em 2030, em comparação ao consumo em um cenário sem LED. No entanto, estudos realizados recentemente em laboratórios de diversos outros países, de forma independente, concluem que esta tecnologia ainda é incipiente, devido à baixa qualidade da iluminação, o que mostra a falta de consenso até o momento.

A qualidade de iluminação inapropriada das lâmpadas LED foi atestada através da medição de outros parâmetros que não apenas a eficiência luminosa. Um estudo comparativo entre LED e fluorescentes concluiu que as lâmpadas fluorescentes tubulares T5 e T8 dissipam menos energia em forma de calor do que as LED de alto brilho. Para edificações que fazem uso de sistemas de ar-condicionado este é um valor significativo. Neste estudo conclui-se que nem mesmo no quesito eficiência luminosa as luminárias LED são vantajosas em

relação às fluorescentes, pois, quando operam durante determinado tempo, a temperatura aumenta e a eficiência energética decresce.

A análise do ciclo de vida e dos impactos ambientais envolvidos nos processos de fabricação, uso e descarte de diversas tecnologias de lâmpadas concluiu que as LED causam menos impactos ambientais que as fluorescentes compactas e consomem a mesma quantidade de energia para fornecer uma mesma quantidade de luz. As incandescentes por sua vez, causam o maior impacto dentre todas, com uma grande margem de diferença. A tecnologia LED apresenta também problemas de falta de regulamentação e padronização de componentes entre os fabricantes, tornando sua manutenção complicada e cara.

No Brasil, a tecnologia OLED (*organic light-emitting diode*), que disputaria mercado com a LED no futuro, está sendo desenvolvida através de parceria entre a PHILIPS e a fundação CERTI em Santa Catarina. A tecnologia OLED é desenvolvida em laboratórios da empresa PHILIPS na Alemanha, enquanto o laboratório brasileiro é responsável pelos estudos de produção, logística e comercialização do produto. Esta tecnologia, entretanto, ainda não é produzida para comercialização. O Departamento de Energia dos Estados Unidos e o Programa Nacional das Nações Unidas cessaram os estudos de comercialização desta tecnologia, por considerá-la incipiente. O Departamento de Energia dos Estados Unidos ainda financia a pesquisa na tecnologia OLED, mas não considera a possibilidade de comercialização no curto e médio prazo.

A escolha equivocada por modelos de construção importados do exterior para se construir no clima brasileiro conduz a um setor de edificações que não se adapta naturalmente às condições climáticas locais e precisa recorrer progressivamente à climatização artificial, gerando despesas desnecessárias de energia e recursos naturais. O baixo consumo de energia do setor de edificações no Brasil, está ligado ao clima tropical da maior parte do país, que dispensa energia para climatização artificial em grande medida. No Brasil utiliza-se energia para o resfriamento artificial sem o controle da eficiência da envoltória, o que é responsável pelo desperdício de energia. O aquecimento artificial de edificações é o responsável pela maior fatia de consumo energético de edificações, em geral, nos países de climas frios. Esta possibilidade de reduzir a climatização artificial no Brasil depende fundamentalmente da qualidade da envoltória das edificações produzidas.

Os meios de controle sobre a envoltória das edificações são dois: o isolamento térmico seguido de vedação hermética de todas as frestas e passagens de ar entre o interior e exterior, ou isolamento térmico seguido de estratégias de ventilação natural. O fechamento hermético do ambiente interno permite o uso de aparelhos de ar condicionado com baixa perda de energia, mas prejudica a ventilação. Nos Estados Unidos, recentemente verificou-se que o modelo de climatização artificial de edificações é prejudicial à saúde dos usuários e à durabilidade da edificação e, por isso, pretende-se investir na pesquisa e aplicação de sistemas de ventilação artificial automatizados, sem abrir mão do selamento hermético de todas as frestas de ar. Neste sentido, o modelo de avaliação adotado pelo Brasil através do RTQ, que valoriza a ventilação natural, é vantajoso em termos de salubridade.

Os materiais utilizados para a envoltória são muito diversos e necessitam de um controle de qualidade eficiente, exercido através da etiquetagem dos componentes. Os materiais

usados para isolamento em fechamentos opacos variam. Os mais comuns são: lã de rocha, lã de vidro, fibra de plástico, poliestireno expandido e poliuretano expandido. Estes materiais necessitam de um revestimento, como alvenaria, gesso acartonado, madeira compensada, etc. O maior desafio do isolamento térmico de fechamentos opacos é encontrado em situações de reforma de edificações, quando o material isolante deve ser aplicado externamente às fachadas já existentes e receber outro revestimento. Pesquisas estão sento feitas em sistemas construtivos para aplicação de isolantes em fachadas externas durante reformas.

As aberturas da envoltória, tais quais janelas, portas e zenitais, constituem os elementos por onde ocorrem as trocas de calor em maior intensidade, prejudicando o isolamento térmico da edificação. A proporção entre área de aberturas e área total das fachadas que melhor concilia eficiência energética e qualidade de iluminação artificial está entre 30% e 40%. Atualmente, a solução mais viável no mercado para o isolamento das aberturas, são o vidro de baixa emissividade e as películas de baixa emissividade. Estes produtos têm propriedades térmicas resistentes à troca de calor tanto por radiação quanto por transmitância. Folhas duplas de vidro, com vácuo ou gases isolantes em seu interior são tecnologias já comercializadas, porém relativamente caras.

Tecnologias mais avançadas ainda se encontram em fase de pesquisa e incipientes para comercialização. São as chamadas *Dynamic Glazing*. Entre elas estão janelas com propriedades fotoativas capazes de mudar suas propriedades de transmitância térmica, coeficiente de ganho solar e transmitância visível de acordo com a luz incidente e controlar a quantidade de luz e calor transmitidos ao ambiente interno. Este controle pode ser feito também através de uma corrente elétrica dimerizável. Janelas com propriedades fotovoltaicas com capacidade de geração de energia também se incluem neste grupo e todas ainda estão em fase de pesquisas.

O tipo de cobertura de uma edificação influencia tanto no seu desempenho energético quanto na formação de ilhas de calor, no contexto urbano. Em locais de climas quentes, é recomendada a construção de coberturas frias, que são coberturas com alta refletância solar e alta emitância de radiação. No contexto de mercado estes modelos já são viáveis e com preços similares a outras opções. Estas coberturas mantêm o ambiente interno menos dependente das condições climáticas externas. Isto reduz os gastos com energia para equipamentos de ar-condicionado, da mesma forma que os isolamentos para envoltória em geral. Além disto, a cobertura fria reduz a temperatura do ambiente externo, devido ao efeito de ilha de calor, se aplicada em um grande número de edificações. A redução de temperatura que pode ser alcançada, entretanto, não foi medida e validada. Para climas frios, coberturas frias não são recomendadas, porque dificultam o ganho de calor pela edificação. Os materiais possíveis para aplicação em coberturas frias são muitos e precisam ser etiquetados em relação a suas propriedades térmicas.

O Brasil não apresenta muitos dos mecanismos de controle sobre a envoltória de edificações já existentes no exterior. O país apresenta um programa de certificação voluntário (a etiqueta PROCEL Edifica, cujo procedimento de avaliação obedece aos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios) e programas de financiamento para o estímulo das iniciativas na área de eficiência energética. O país passou a exigir em 2013, requisitos mínimos obrigatórios de

desempenho energético para edificações. Em outras grandes economias, já se observa programas de etiquetagem, obrigatórios ou voluntários, requisitos mínimos obrigatórios de desempenho energético, comunicação reforçada à população, programas de financiamento e grandes esforços para a fiscalização do cumprimento destas diretrizes.

Para que o Brasil alcance edificações energeticamente eficientes, recomenda-se:

Investir na comunicação da etiqueta de eficiência energética à população. A comunicação através de diversas mídias é o primeiro passo para a efetividade do programa, e uma das principais medidas necessárias para o caso brasileiro. É necessário manter a população informada da necessidade da racionalização da energia para o país e de como a etiquetagem de edificações, mesmo que de caráter voluntário, possibilita ao consumidor escolher produtos eficientes e se beneficiar inclusive em termos financeiros. A comunicação é feita por agências especializadas terceirizadas em diversos países e é apontada como medida fundamental para o sucesso dos programas. O consumidor informado dos benefícios, poderá escolher corretamente no mercado os melhores produtos, que devem atender a requisitos mínimos de desempenho energético e serem etiquetados.

Estabelecer a etiquetagem obrigatória de edificações. O consumidor, desta forma, terá condições de avaliar os produtos disponíveis no momento da escolha. Na China e em países membros da União Europeia esta medida já é uma realidade. Nos Estados Unidos, a decisão de obrigatoriedade da etiqueta é de competência dos governos dos estados e municípios, mas a comunicação dos benefícios da etiqueta é feita em todo o país, o que gera a percepção de sua importância em toda a população. No Brasil, a etiqueta PROCEL Edifica é voluntária. A etiquetagem obrigatória de edificações é necessária para que os consumidores saibam a qualidade do produto que estão comprando e exijam esta qualidade do mercado. Quando a certificação tem caráter voluntário, ela é feita apenas com fins publicitários por uma reduzida parcela dos produtores de edificações, que normalmente só certificam seus produtos com o maior nível de qualidade. Se o consumidor estiver bem informado, ele poderá optar por estes produtos de nível "A", mas para isto a comunicação é essencial.

Estabelecer etiquetagem de componentes da envoltória de edificações. A etiquetagem de componentes como aberturas, coberturas e vedações com propriedades físicas que contribuam para o desempenho energético da edificação é necessária para comunicar aos construtores, projetistas e usuários quais produtos atendem melhor suas necessidades em termos de conforto e desempenho energético. Exemplos disto são as entidades normatizadoras americanas, como o *National Fenestration Rating Council* (NFRC), que é responsável pela etiquetagem de janelas e aberturas em geral, e o *Cool Roof Rating Council* (CRRC), que é responsável pela etiquetagem de telhas, telhados e coberturas frias.

Estas entidades são organizações privadas sem fins lucrativos que elaboram métodos de medição e avaliação das propriedades físicas dos materiais e executam testes de laboratório para a emissão das etiquetas. Elas são acreditadas pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos como organizações que prestam serviço terceirizado para a implementação do programa de etiquetagem *Energy Star*, que emite etiquetas para eletrodomésticos e edificações. Desta forma, as organizações terceirizadas são responsáveis pela medição em laboratório das propriedades físicas dos materiais e emitem etiquetas com a informação quantitativa destas propriedades. O programa *Energy Star*, por sua vez estabelece os níveis

de desempenho mínimos aceitáveis para cada propriedade física. Por exemplo, para a propriedade física transmitância térmica, o NFRC mede em laboratório esta propriedade nos produtos e emite uma etiqueta com o resultado quantitativo, porém não indica se este valor é bom ou ruim. Para que o produto receba também a etiqueta do *Energy Star*, que é concedida apenas a produtos eficientes, ele precisa ter um desempenho aceitável em relação a esta propriedade, que neste caso é um valor máximo de transmitância térmica.

Medir a redução do consumo de energia em edificações eficientes e quantificar possíveis ganhos. É necessário medir o custo/benefício e o tempo de retorno financeiro de edificações eficientes. Existe uma ausência de um banco de dados amplo, de medições empíricas, que permita comparar quanta energia é consumida em edificações eficientes e ineficientes. Esta lacuna foi notada por laboratórios de pesquisa norte-americanos, que apontam que existe uma confiança geral em programas de simulação computacional para identificação destes indicadores, mas poucos dados provenientes de medição empírica. O sistema de gerenciamento de energia *Smart Grid*, que está sendo desenvolvido e implementado em diversos países, possibilitará a medição empírica do consumo de energia e a comparação com maior precisão. O mercado exige a validação destes ganhos, como comprovação dos benefícios financeiros.

Criar um banco de dados central para o acompanhamento da etiquetagem de edificações. Um sistema informatizado para a emissão de etiquetas de edificações é fundamental para o controle do processo e garantia da qualidade do serviço, a exemplo de Portugal. Este banco de dados deve ser alimentado com as informações a respeito do processo de avaliação das edificações, registro dos avaliadores, número de etiquetas emitidas, recomendações para melhoria e deve possuir uma ferramenta de pesquisa que permita o acompanhamento da evolução do programa.

Aquecer o mercado através da compra de edificações eficientes e serviços de eficiência energética por parte do Estado. Esta medida, é necessária principalmente para gerar demanda para o mercado de produtos eficientes, pois atualmente não existe demanda capaz de sustentar negócios nesta área. Adicionalmente, é um exemplo para comunicar à população da efetividade e sucesso do programa de conservação de energia. Existe no Brasil um decreto presidencial a este respeito, e uma comissão que discute os meios de implementação das diretrizes. O Decreto Presidencial nº 7.746, de 5 de junho de 2012 regulamenta a Lei 8.666/93, que trata de licitações públicas, regulamentando as diretrizes de sustentabilidade que serão dadas às contratações feitas pela administração pública. A implementação destas diretrizes, no entanto, está em fase de discussões. Na União Europeia e na China, todos os edifícios públicos devem ser etiquetados e ter estas etiquetas expostas publicamente.

Investir na formação de profissionais capacitados para atender a demanda de todas as etapas do processo. É necessário formar profissionais de nível técnico para atender ao canteiro de obras, projetistas e inspetores de edifícios. Em Portugal, o programa de treinamento de profissionais avaliadores foi bem sucedido e poderia ser tomado como exemplo. Naquele país, a Agência de Energia foi responsável pela elaboração de um módulo de treinamento, isto é, um curso, que é aplicado aos alunos aspirantes por universidades e instituições privadas acreditadas. O mesmo órgão também é responsável pela aplicação de um teste nacional para aprovação dos candidatos, que podem então ser

registrados e acreditados para emissão de etiquetas para edificações. Os avaliadores são responsáveis pela avaliação na fase de projeto e após a conclusão da obra, além de propor recomendações para o melhoramento das edificações.

Garantir o cumprimento dos requisitos mínimos para o desempenho energético em edificações e desenvolver requisitos para edificações comerciais e públicas. A NBR 15575 (Edificaões Habitacionais – Desempenho) entrou em vigor em julho de 2013 e estabelecerá requisitos para edificações residenciais. Ela abrange, além do desempenho energético, a segurança e a qualidade do ar, acústica e estrutural. No entanto, estudos indicam que esta norma é ainda bastante permissiva e pouco eficiente em solucionar os problemas de conforto térmico e, consequentemente, de eficiência energética em edificações. Nos Estados Unidos, China e União Europeia estes requisitos já são obrigatórios. O caso americano é um exemplo neste aspecto. Nos Estados Unidos, cada Estado deve ter um código obrigatório que seja tão exigente quanto, ou mais que o ASHRAE 90.1. A fiscalização do cumprimento a estes códigos é feita por órgãos governamentais específicos para tal tarefa, ou pelos mesmos organismos de aprovação de projetos de segurança e incêndios. Por vezes, a fiscalização é dividida entre o município e Estado, caso em que um órgão estadual avalia o projeto e o órgão municipal avalia o edifício construído.

Eliminar incentivos contraditórios para o mercado. O Estado deve dar incentivos claros e coerentes para que o mercado assimile as diretrizes. Para que as metas de eficiência energética sejam alcançadas, não é coerente que o consumo ineficiente de energia seja estimulado pelo Estado. Por isso, o preço da energia não deve ser mantido artificialmente baixo, o que desestimula qualquer esforço no sentido de redução do consumo de energia. O preço artificial da energia é uma realidade observada em várias economias e é um dos maiores obstáculos comumente citados para a redução do consumo de energia em geral.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparação de valores típicos de eficiência energética entre diferentes tecnologias. 16

Tabela 2. Eficiências mínimas para lâmpadas incandescentes 127V-750h obrigatórias por lei federal no Brasil. 19

Tabela 3. Eficiências mínimas para lâmpadas incandescentes 220V-1000h obrigatórias por lei federal no Brasil. 20

Tabela 4. Valores máximos de potências permitidas para lâmpadas incandescentes nos Estados Unidos. 20

Tabela 5. Valores de eficiência luminosa exigidos na China e valores cujo cumprimento é voluntário, para lâmpadas fluorescentes compactas. 23

Tabela 6. Eficiência luminosa mínima exigida no Brasil e níveis de cumprimento voluntário considerados eficientes, para lâmpadas fluorescentes compactas. 23

Tabela 7. Níveis mínimos de eficiência luminosa exigidos no Brasil, China e Estados Unidos, para lâmpadas fluorescentes compactas. 24

Tabela 8. Densidades de potência de iluminação máximas, de acordo com a função do edifício, estabelecidos pela ASHRAE. 25

Tabela 9. Densidades de potência de iluminação máximas, de acordo com a função do espaço, estabelecidos pela ASHRAE. 26

Tabela 10. Valores máximos de densidade de potência luminosa por espaço de acordo com o Código de Eficiência Energética para Edificações Públicas GB50189-2005 da China. 26

Tabela 11. Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício. 27

Tabela 12. Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação para o nível de eficiência pretendido – Método das atividades do espaço. 28

Tabela 13. Materiais usados para revestimento de coberturas que dispõem de opções com propriedades de coberturas frias. 37

Tabela 14. Etapas de implementação da etiquetagem de edificações em Portugal. 53

SUMÁRIO

1. Introdução 12

1.1. Considerações iniciais 12

1.2. Objetivos 13

1.3. Método 13

1.4. Estrutura do trabalho 13

2. Estado da arte em iluminação 15

2.1. Principais tecnologias 15

2.2. Qualidade de iluminação de LED e fluorescentes 15

2.3. Dissipação de calor de LED e fluorescentes 17

2.4. Ciclo de vida de LED, fluorescentes e incandescentes 17

2.5. Possibilidades de mercado 17

2.6. Normatização de lâmpadas incandescentes e fluorescentes 18

2.6.1. Comparação de requisitos mínimos de eficiência energética para lâmpadas incandescentes 19

2.6.2. Comparação de requisitos mínimos de qualidade para lâmpadas fluorescentes compactas 22

2.6.3. Requisitos mínimos de qualidade para LED 24

2.7. Normatização da iluminação na edificação 24

2.8. Pesquisas em novas tecnologias 30

3. Estado da arte em envoltória 32

3.1. Características da envoltória 32

3.2. Paredes e piso 32

3.3. Aberturas 34

3.4. Cobertura 36

3.5. Normatização do desempenho térmico da envoltória 38

4. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações 42

4.1. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações no Brasil. ... 43

4.2. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações na China. ... 45

4.3. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações na União Europeia 46

4.3.1. Mecanismos existentes 46

4.3.2. Reforma de edificações 47

4.4. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações no Reino Unido 48

4.4.1. Situação do setor energético e de edificações 48

4.4.2. Financiamento 48

4.4.3. Método de avaliação 49

4.4.4. Certificação 49

4.4.5. Treinamento de pessoal 50

4.5. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações na Dinamarca 50

4.5.1. Legislação existente 50

4.5.2. Etiquetagem 51

4.5.3. Financiamento 51

4.5.4. Comunicação 51

4.5.5. Plano de ação 51

4.6. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações em Portugal 52

4.6.1. Etiquetagem 52

4.6.2. Sistema de administração e banco de dados 53

4.6.3. Treinamento de avaliadores 54

4.6.4. Metodologia de cálculo e softwares 54

4.6.5. Resultados e desafios 54

4.7. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações nos Estados Unidos 55

4.7.1. Requisitos mínimos 55

4.7.2. Fiscalização 55

4.7.3. Etiquetagem 56

4.7.4. Roadmap para edificações residenciais 57

4.8. Smart Grid 58

5. Conclusões 60

Referências 64

1. Introdução

1.1. Considerações iniciais

O uso eficiente de energia é uma questão que abrange economia, meio ambiente, desenvolvimento tecnológico e conforto humano. Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (2011), é de interesse tanto dos estados (por meio das ações induzidas) quanto do mercado (por meio das ações autônomas) que a energia disponível – e limitada – seja investida de forma racional em setores estratégicos para o desenvolvimento. O desperdício de energia significa também a degradação dos recursos naturais e a inviabilização de outras possíveis atividades, visto que existe uma grande demanda reprimida por energia. Para Jannuzzi (2000), o setor energético no Brasil e em vários outros países passa por diversas mudanças cujo desafio é garantir que a indústria de eletricidade seja competitiva, atenda interesses sociais e ambientais e assegure investimentos sustentáveis para o futuro.

Os combustíveis fósseis são as principais fontes de energia para a população humana, com destaque para o carvão e o petróleo. Após as sucessivas crises do petróleo ocorridas nas últimas décadas e constantes ameaças à sua produção nos principais países exportadores, mostrou-se necessário repensar o modo como a energia é utilizada para os fins humanos. Isto levou a um esforço conjunto dos governos de muitos países para incentivar novas fontes de energia e o seu uso racional. A Agência Internacional de Energia (2010) estima que até 2050 o setor de edificações possa economizar energia equivalente a até 1509 milhões de toneladas de petróleo, se políticas de eficiência energética forem implementadas com sucesso. Por isso, o uso racional de energia neste setor é uma das 25 medidas recomendadas pela agência para atingir as metas de redução mundial de uso de energia e emissões de dióxido de carbono.

O *American Council for an Energy-Efficient Economy* (2012) realizou uma pesquisa em que o Brasil aparece nos últimos lugares de uma classificação de eficiência energética entre as doze maiores economias mundiais, que representam juntas 63% do consumo de energia mundial. Neste estudo foram avaliados os usos de energia em três modalidades: transportes, edificações e indústrias. Além da avaliação do uso de energia, também foram avaliados os esforços nacionais realizados para se promover a eficiência energética. No quesito "edificações" o Brasil ficou em 10º entre as doze economias avaliadas. As baixas notas obtidas pelo país são devidas principalmente a não existência de requisitos mínimos de desempenho obrigatórios para edificações residenciais (que só passou a ser exigido em 2013) e comerciais em nível nacional, até o fim da coleta de dados realizada. Além disto, contam para a má avaliação as poucas normas existentes para equipamentos elétricos, alta intensidade energética em edificações comerciais e a não obrigatoriedade da certificação de eficiência energética de edifícios.

O Balanço Energético Nacional, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (2012) aponta que o setor residencial respondia por 9,5% do consumo final de energia no ano de 2011 (incluindo todas as fontes, sejam elas derivadas de petróleo, biomassa, nuclear ou outras). O setor comercial respondia por 2,9% e o público por 1,5%. Quando analisado o consumo de eletricidade apenas, o setor residencial respondia por 23,6%, o comercial por

15,4% e o público por 8,0%, no ano de 2010. Esta é uma importante parcela do consumo de energia do país, que deve ter seu uso racionalizado por meio de ações induzidas e autônomas. Ghisi, Gosch e Lamberts (2007) apontam que o consumo de energia no setor residencial é dado principalmente por eletrodomésticos, sistemas de ar condicionado e iluminação. Os gastos com iluminação e ar condicionado por sua vez são estimulados por projetos de envoltória ineficientes que não têm bom aproveitamento de iluminação e climatização naturais.

De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (2011), algumas das medidas adotadas para se conter a ineficiência energética são o aperfeiçoamento de tecnologias ineficientes e a melhor organização, conservação e gestão do uso da energia. Ele estabelece uma meta de redução de 10% do consumo de energia ao final de 2030. Segundo Ministério de Minas e Energia (2011), no Brasil, o potencial de redução de consumo de energia em edificações existentes é de 30%, implementando-se ações de eficiência energética nos sistemas de ar condicionado, iluminação e envoltória. Em edificações novas este potencial é de 50%.

No cenário global é possível observar exemplos de políticas e tecnologias bastante desenvolvidas já sendo aplicadas. Entre as ações propostas, interessa o conhecimento destas políticas e tecnologias bem-sucedidas e aplicação em território nacional.

1.2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é verificar o estado da arte de eficiência energética em iluminação e envoltória em edificações e elaborar recomendações de medidas necessárias para que se avance nesta área no Brasil.

1.3. Método

Este trabalho é baseado em revisão de literatura, que se serviu de fontes de informação de artigos científicos da base de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e de material disponibilizado eletronicamente nos sites de instituições governamentais e não governamentais que tratam do desenvolvimento de programas de eficiência energética, nacionais e internacionais. Entre estas fontes, se destacam o Departamento de Energia dos Estados Unidos e a plataforma de discussão *Build Up*, voltada para a eficiência energética em edificações na União Europeia. A coleta se deu preferencialmente entre os dados mais recentes a respeito do assunto, publicados entre os anos de 2009 e 2013, embora para efeitos de apresentação retrospectiva se tenha usado fontes anteriores a estas datas.

1.4. Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em seis capítulos. No capítulo 1 foi apresentado o resumo executivo, apresentando em linhas gerais a situação da eficiência energética em iluminação e envoltória em edificações nas principais economias do mundo e a comparação do Brasil

em relação a estas economias. Estão apresentadas de maneira geral as conclusões do estudo e recomendações para o caso brasileiro.

No capítulo 2 é feita uma apresentação ao tema de eficiência energética em edificações, bem como dos objetivos do trabalho.

No capítulo 3 é apresentado o panorama global das tecnologias de iluminação existentes, com o objetivo de racionalizar o uso da energia em edificações, e a normatização destas tecnologias.

No capítulo 4 é apresentado o panorama global das tecnologias de envoltória existentes, com o objetivo de racionalizar o uso da energia em edificações, e a normatização destas tecnologias.

No capítulo 5 é apresentado o panorama global das políticas de eficiência energética aplicadas. Este capítulo abrange as formas como algumas economias mantêm controle sobre o desempenho energético do setor de edificações, as estratégias de regulamentação, financiamento e incentivos dados pelo Estado.

O capítulo 6 é dedicado às conclusões do trabalho e comparação do Brasil em relação a outras economias, bem como recomendações de ações a serem tomadas para o uso racional de energia no país, com relação à envoltória e ao sistema de iluminação de edificações.

2. Estado da arte em iluminação

2.1. Principais tecnologias

Gastos com iluminação são responsáveis pelo consumo de 19% de toda a energia elétrica produzida no mundo, e a demanda por iluminação artificial está em constante crescimento. A demanda global por iluminação artificial será 80% maior em 2030, se o crescimento econômico mundial seguir segundo as tendências atuais. Para que não ocorra falta de oferta de energia, é necessário o investimento no aumento da oferta, através de mais geração de energia, e na redução da demanda, através de políticas de eficiência energética. Estas últimas têm em geral um alto custo-benefício (Agência Internacional de Energia, 2006). Lâmpadas incandescentes são as fontes de iluminação mais utilizadas globalmente em edificações devido ao seu custo reduzido e facilidade de acesso e instalação. Apesar disto, são extremamente ineficientes e existe consenso que devem ser substituídas por novas tecnologias. De acordo com relatório elaborado pelo Programa Ambiental das Nações Unidas (2012), as lâmpadas fluorescentes compactas e as lâmpadas LED (*Ligh emitting diode*) são as alternativas com maior potencial para substituir as lâmpadas incandescentes. Estas alternativas são eficientes energeticamente e viáveis no contexto de mercado. Diferentemente de outras tecnologias também eficientes (como lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor de sódio, halógenas e fluorescentes tubulares), as lâmpadas de LED e fluorescentes compactas são desenhadas para uso residencial e em edificações de serviço em geral. As outras têm uso principalmente na iluminação industrial, comercial e pública.

Para o Programa Ambiental das Nações Unidas (2012), as principais dificuldades referentes à substituição da iluminação ineficiente são a existência de inúmeros procedimentos de certificação de qualidade que não seguem os mesmos padrões e o mercado extremamente competitivo que prioriza os custos em detrimento da qualidade. Para os consumidores finais isto prejudica a capacidade de distinção entre produtos de baixa e alta qualidade, deixando a decisão refém do menor preço. A adoção de procedimentos de certificação e fiscalização globalmente padronizados é necessária para estimular os produtores e consumidores a adotar as novas tecnologias com qualidade atestada.

O Departamento de Energia dos Estados Unidos disponibiliza valores médios de eficiência luminosa para diversas tecnologias de lâmpadas já disponíveis no mercado em 2009, para efeito de comparação. Estes valores estão representados na Tabela 1.

2.2. Qualidade de iluminação de LED e fluorescentes

As lâmpadas LED são muito divulgadas comercialmente neste momento. Estudos demonstram que sua eficiência luminosa é maior do que a das fluorescentes em alguns casos. Esta é uma tecnologia em desenvolvimento que conta com muito investimento. Diversos estudos foram feitos recentemente para avaliar o estado da tecnologia LED e comparar com a tecnologia das lâmpadas fluorescentes, já consolidada. Verifica-se a falta de consenso entre os testes e estudos realizados. As conclusões feitas por laboratórios norte-americanos, a serviço do Departamento de Energia dos Estados Unidos, atestam que

a tecnologia LED está pronta para comercialização, enquanto alguns laboratórios de países europeus concluem que a tecnologia LED ainda apresenta muitas desvantagens e não é apropriada para o uso em iluminação geral de edificações.

Tabela 1. Comparação de valores típicos de eficiência energética entre diferentes tecnologias.

Fonte de luz	Eficiência luminosa típica (lm/W)
Incandescente (sem reator)	10-18
Halógena (sem reator)	15-20
Fluorescente compacta (com reator)	35-60
Fluorescente tubular (com reator)	50-100
Vapor de metal (com reator)	50-90
LED branca fria > 4000K (com driver*)	60-92
LED branca quente < 4000K (com driver*)	27-54

Fonte: Departamento de Energia dos Estados Unidos (2009).

*Os Drivers dos circuitos de LEDs são dispositivos eletrônicos que fornecem ao circuito uma quantidade constante de energia de acordo com a mudança das propriedades elétricas que ocorrem pela mudança de temperatura. Estes dispositivos também consomem energia e influenciam no desempenho energético da lâmpada LED.

Segundo medições recentes com produtos disponíveis no mercado, a qualidade da iluminação da tecnologia LED é inapropriada para uma série de usos. Entre eles está o uso para atividades visuais em escritórios e residências. A qualidade de iluminação inapropriada das lâmpadas LED foi atestada através da medição de outros parâmetros que não apenas a eficiência luminosa. Foram testados doze modelos disponíveis no mercado, nos quesitos: fluxo luminoso, fidelidade de cores, temperatura de cor, iluminância, intensidade luminosa, entre outros critérios, em comparação com as fluorescentes tubulares. As medições foram feitas após a troca das lâmpadas tubulares fluorescentes T8 das luminárias de um escritório por tubos LED sem, no entanto, trocar as luminárias (RYCKAERT et al., 2012). A conclusão é de que as lâmpadas fluorescentes não podem ser arbitrariamente substituídas por LED:

> O consumo de energia é reduzido em aproximadamente 70%, porém a iluminância também é reduzida em aproximadamente 50% [...] O valor médio de fluxo luminoso dos tubos LED é de 1479 lumens, o que representa apenas 44% do fluxo luminoso das fluorescentes tubulares convencionais T8 36W/830 com as mesmas dimensões. [...] Como a potência real da maioria das lâmpadas LED é menor que 25W, deve-se esperar uma corrente não-senoidal. Os componentes para correntes harmônicas causam maiores perdas em cabos e transformadores, um problema especialmente para distribuidoras de energia (RYCKAERT et al., 2012, v.49, p.430, tradução nossa).

2.3. Dissipação de calor de LED e fluorescentes

Um estudo comparativo entre LED e fluorescentes concluiu que as lâmpadas fluorescentes tubulares T5 e T8 dissipam entre 73% e 77% da energia em forma de calor, enquanto as LED de alto brilho dissipam entre 87% e 90%. Para edificações que fazem uso de ar-condicionado este é um valor significativo. As fluorescentes apresentam um melhor desempenho. A eficiência luminosa das lâmpadas LED decresce em altas temperaturas de trabalho, o que em certas medições as colocam inclusive abaixo de lâmpadas fluorescentes T5 no quesito eficiência luminosa (QIN et al., 2009).

2.4. Ciclo de vida de LED, fluorescentes e incandescentes

A análise do ciclo de vida e dos impactos ambientais envolvidos nos processos de fabricação, uso e descarte de diversas tecnologias de lâmpadas é um estudo que envolve muitos dados e variáveis. O Departamento de Energia dos Estados Unidos (2012a) procurou medir os impactos em diversas áreas do meio ambiente causados por estas tecnologias após fornecerem uma mesma quantidade de luz, medida em lumens-hora.

Foram listadas quinze formas de impacto ambiental, incluindo impactos ao ar, água, terra e de recursos tóxico radioativos. Foram analisados um modelo específico de LED, já encontrado no mercado em 2012, um modelo de LED com produção prevista para 2017, com muitas melhorias incorporadas, as fluorescentes compactas e as incandescentes. A conclusão é que as LED de 2012 causam aproximadamente 20% menos impactos que as fluorescentes compactas e consomem a mesma quantidade de energia para fornecer uma mesma quantidade de luz. Já os impactos das LED projetadas para 2017 são bem menores que estas últimas, cerca de 70% menores que das fluorescentes compactas. As incandescentes por sua vez, causam o maior impacto dentre todas, com uma grande margem de diferença.

O maior impacto causado pelas LED é em decorrência dos dissipadores de calor de alumínio. A previsão é que com o desenvolvimento da tecnologia a eficiência aumente e o dissipador de calor reduza em tamanho. O estudo concluiu que os consumos de energia de LED e fluorescentes compactas são de aproximadamente 3900 MJ para 20 milhões de lúmen-hora produzido. A maior parte da energia é consumida durante o seu uso e não na produção e transporte, apesar de não ficar bem definido no estudo quanta energia é consumida na produção (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2012a).

2.5. Possibilidades de mercado

Helm (2012) atenta para a dificuldade de inserção da tecnologia LED no mercado no Chile e região. O fato de esta ser uma tecnologia em rápido desenvolvimento resulta em uma rápida obsolescência dos produtos e dos seus componentes, frente às melhorias feitas constantemente. Isto torna difícil a manutenção dos equipamentos, pois não existem padrões de compatibilidade no mercado entre os fabricantes de LED e luminárias. Os custos são bastante elevados em relação às fontes de iluminação convencionais. Para alguns usos, o LED já representa uma melhor opção, como em casos em que se deseja

iluminação colorida, iluminação para sinalização e aplicações industriais. Neste sentido, o LED apresenta vantagens por emitir cores com alto desempenho energético, ser insensíveis a vibração e poder ocupar pequenos espaços.

Apesar das desvantagens demonstradas por estudos científicos, o Departamento de Energia dos Estados Unidos (2012b) prevê que naquele país, até 2030, haverá um grande crescimento da tecnologia LED no mercado. A pesquisa em LEDs é incentivada por leis federais de segurança energética e de reinvestimento de fundos financeiros. A iniciativa chamada *Next Generation Lighting Initiative* é financiada pelo DOE (*U.S. Department of Energy*) e NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*), e é a principal responsável pelo desenvolvimento e comercialização da tecnologia. Um estudo de mercado foi realizado pelo DOE para estipular a parcela do mercado da tecnologia LED em 2030 e a possível economia de energia decorrente.

No setor residencial americano, a estimativa é de que os LEDs tenham aproximadamente 70% do mercado em 2030, em lumens-hora consumidos. As lâmpadas incandescentes, que em 2010 correspondiam a 61%, em 2030 corresponderão a um valor próximo de 0% devido às restrições impostas pelo governo. Fluorescentes compactas, que hoje correspondem a 38%, teriam sua fatia reduzida a 20%. O documento cita o fato de que em 2001, as fluorescentes compactas respondiam por 2% deste mercado e em menos de 10 anos alcançaram 38%, devido a incentivos governamentais, como está sendo feito no momento com os LEDs. Se a expectativa de inserção de LEDs no mercado for realizada, as economias de energia neste setor chegariam a 67% em 2030, em comparação ao consumo em um cenário sem LED (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2012b).

Na China, o mercado de LED também se encontra em expansão. As receitas da indústria de LED na China aumentaram mais de 80% entre 2008 e 2009, passando de 6,5 bilhões de dólares para 12 bilhões de dólares. Além disto, o investimento nesta tecnologia ultrapassou 4,55 bilhões de dólares apenas em 2010. O plano econômico chinês espera que a tecnologia LED tenha uma fatia de 30% do mercado de iluminação geral em 2015 (PROGRAMA AMBIENTAL DAS NAÇÕES UNIDAS, 2011).

2.6. Normatização de lâmpadas incandescentes e fluorescentes

O principal documento abordado neste trabalho para a comparação da regulamentação dos produtos de iluminação entre diversos países é o relatório do Programa Ambiental das Nações Unidas (2011). Este relatório serviu de base para a avaliação e classificação das principais economias mundiais, e classificou a situação no Brasil como avançada, no mesmo patamar que Estados Unidos, China e União Europeia. O resultado da avaliação foi medido em três níveis: avançado, em progresso e limitado.

Os fatores analisados para que a situação da eficiência energética em iluminação no Brasil fosse classificada como avançada foram:

a) A existência de uma entidade governamental e um programa nacional de conservação de energia elétrica, o INMETRO e o Procel, respectivamente.

b) A existência de mecanismos regulatórios. No Brasil, existem requisitos mínimos de desempenho energético para lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Existe também o programa de etiquetagem do INMETRO, que avalia estes produtos em termos de eficiência energética.

c) A existência de políticas de suporte ao programa de eficiência energética, tais quais a distribuição de lâmpadas eficientes para famílias de baixa renda e as campanhas de divulgação e conscientização conduzidas pelo Procel.

d) A existência de um programa de monitoração, verificação e implementação, conduzido pelo INMETRO.

e) A existência de uma lei que responsabiliza produtores, distribuidores, importadores, comerciantes, consumidores e coletores de lixo pelo tratamento dos resíduos de produtos no fim de sua vida útil (BRASIL, 2010b).

2.6.1. Comparação de requisitos mínimos de eficiência energética para lâmpadas incandescentes

No Brasil, a fabricação e importação para fins de comercialização de lâmpadas incandescentes estão sujeitas a datas limite, seguindo uma tendência global. Até 2016, as potências destes produtos deverão ser progressivamente menores, como exposto nas Tabelas 2 e 3. Após 2016, estará proibida a fabricação e importação de lâmpadas incandescentes no Brasil. Ao dia 30 de junho de cada ano a potência máxima permitida é reduzida e eficiências mínimas dadas em lumens por Watts são exigidas. Desta forma, os dispositivos deverão produzir mais luz com menor quantidade de energia elétrica consumida. As lâmpadas com potência acima de 151W, por exemplo, deverão ser fabricadas com eficiência mínima de 20lm/W a partir de 2012 e de 24lm/W a partir de 2013. Em 2014 não poderão mais ser fabricadas lâmpadas incandescentes com mais de 151W de potência. As datas e valores de eficiência mínimos para as lâmpadas com menos de 151W estão indicados nas Tabelas 2 e 3 (BRASIL, 2010a).

Tabela 2. Eficiências mínimas para lâmpadas incandescentes 127V-750h obrigatórias por lei federal no Brasil.

Potência (W)	Eficiência mínima (lm/W)				
	30/06/2012	30/06/2013	30/06/2014	30/06/2015	30/06/2016
Acima de 151	20	24	-	-	-
101 a 150	19	23	-	-	-
76 a 100	-	17	22	-	-
61 a 75	-	16	21	-	-
41 a 60	-	-	15,5	20	-
26 a 40	-	-	-	14	19
até 25	-	-	-	11	15

Fonte: Brasil (2010a).

Tabela 3. Eficiências mínimas para lâmpadas incandescentes 220V-1000h obrigatórias por lei federal no Brasil.

Potência (W)	Eficiência mínima (lm/W)				
	30/06/2012	30/06/2013	30/06/2014	30/06/2015	30/06/2016
Acima de 151	18	22	-	-	-
101 a 150	17	21	-	-	-
76 a 100	-	14	20	-	-
61 a 75	-	14	19	-	-
41 a 60	-	-	13	18	-
26 a 40	-	-	-	11	16
até 25	-	-	-	10	15

Fonte: Brasil (2010a).

Nos Estados Unidos, o Programa Ambiental das Nações Unidas (2011) também classificou a situação da eficiência energética em edificações como avançada. Neste país também existem requisitos mínimos de desempenho para lâmpadas incandescentes, que, como no Brasil, estão sujeitos a restrições progressivas ao longo dos anos. A Tabela 4 mostra os valores de potências máximas permitidas de acordo com o fluxo luminoso.

Tabela 4. Valores máximos de potências permitidas para lâmpadas incandescentes nos Estados Unidos.

Fluxo luminoso (lm)	Potências Máximas (W)	Vida útil mínima (h)	Data para cumprimento
1490-2600	72	1000	1/1/2012
1050-1489	53	1000	1/1/2013
750-1049	43	1000	1/1/2014
310-749	29	1000	1/1/2014

Fonte: United States of America (2007).

Nos Estados Unidos, a maior potência permitida para a comercialização de lâmpadas incandescentes é de 53W, enquanto no Brasil ainda é permitida a comercialização de valores acima de 151W nesta mesma data. Teoricamente, qualquer valor de potência é permitido no Brasil em 2013, desde que atendendo a uma eficiência mínima como definido nas Tabelas 2 e 3. Observando a Tabela 4 pode-se afirmar que, nos Estados Unidos, dividindo-se o menor fluxo luminoso permitido em 2013 (1050 lumens) pela maior potência permitida (53W), obtém-se a eficiência mínima permitida de 19,81 lm/W. Na prática, apesar das eficiências luminosas permitidas nos dois países serem semelhantes, a comercialização nos Estados Unidos é mais restrita, porque são estabelecidos valores máximos de fluxos luminosos, o que significa que para se obter uma mesma quantidade de fluxo luminoso, o consumidor deverá usar mais lâmpadas, e o uso de apenas uma lâmpada

não será satisfatório em termos de conforto visual humano. Pela legislação brasileira, a comercialização de lâmpadas incandescentes em 2016, só será permitida para potências de até 40W, voltagem de 127V e eficiência luminosa de 19 lm/W, ou voltagem de 220V e eficiência luminosa de 16 lm/W. Estes valores se aproximam da meta americana para 2014.

Na União Europeia, a legislação é complexa, sendo estabelecido um cálculo que define a máxima potência permitida para um dado valor de fluxo luminoso emitido. Este cálculo não é obrigatório apenas para lâmpadas incandescentes, mas para todas as chamadas "lâmpadas limpas", que são "lâmpadas (excluindo lâmpadas fluorescentes) com luminância acima de 25.000 candelas/m² e fluxo luminoso abaixo de 1000 lumens, ou lâmpadas com luminância acima de 100.000 candelas/m² e fluxo luminoso acima de 2000 lumens". Esta definição inclui, portanto, LED, incandescentes e lâmpadas de descarga elétrica na mesma categoria, para efeito de cálculo de eficiência energética. No ano de 2013, o cálculo deverá ser feito por meio da Equação 1.

$$P = 0{,}8\left(0{,}88\sqrt{\Phi} + 0{,}049\Phi\right) \qquad (1)$$

Onde:

P é a potência máxima permitida (W);

Φ é o fluxo luminoso emitido pelo produto (lm).

Como exemplo, para um fluxo luminoso de 2000 lm, a potência máxima permitida seria de 110W, portanto, uma eficiência luminosa de 18,18 lm/W. Para um fluxo luminoso de 1000 lm, a eficiência mínima permitida é de 16,27 lm/W.

Para os anos de 2014 e 2015 são estabelecidas equações respectivas para cada ano, progressivamente mais restritivas. A partir de 2016, o cálculo para a potência máxima deve obedecer a requisitos mais restritivos, obedecendo a Equação 2.

$$P = 0{,}6\left(0{,}88\sqrt{\Phi} + 0{,}049\Phi\right) \qquad (2)$$

Onde:

P é a potência máxima permitida (W);

Φ é o fluxo luminoso emitido pelo produto (lm).

Desta forma, tem-se que para 2000 lm, a potência permitida será de 82W e para 1000 lm será de 46W. A legislação brasileira é, portanto, um pouco mais restritiva que a europeia (OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION, 2009).

Na China, a legislação documentada pelo Programa Ambiental das Nações Unidas a respeito da comercialização de lâmpadas incandescentes se resume a três datas: outubro de 2012, quando lâmpadas incandescentes de 100W ou mais terão sua comercialização proibida; outubro de 2014, quando lâmpadas incandescentes de 60W ou mais terão sua comercialização proibida; outubro de 2016, quando lâmpadas incandescentes de 15W ou mais terão sua comercialização proibida (CHINA TO PHASE OUT INCANDESCENT LAMPS, 2011).

2.6.2. Comparação de requisitos mínimos de qualidade para lâmpadas fluorescentes compactas

Segundo o Programa Ambiental das Nações Unidas (2011), a comparação entre a normatização das lâmpadas fluorescentes compactas entre diversos países é limitada, pois cada norma de cada país têm escopos e parâmetros diferentes de regulamentação, o que é um dos principais entraves observados para a produção de produtos de qualidade. Existem atualmente 48 normatizações nacionais de desempenhos mínimos e programas voluntários diferentes para fluorescentes compactas. Atentando-se para o fato de que 80% destes produtos são fabricados na China, observa-se que a falta de monitoração e cumprimento dos requisitos locais neste país causam problemas para todos os países importadores. Logo, a normatização em países importadores para controlar a qualidade destes produtos tem apenas efeito indireto.

Existem iniciativas que procuram harmonizar os requisitos mínimos de desempenho a nível internacional. Duas destas iniciativas, a *Asia Lighting Compact* e a *International CFL Harmonization*, mantém diálogo com as entidades normatizadoras de diversos países, mas até o momento têm encontrado barreiras, pois ainda não existe consenso a respeito dos parâmetros que devem ser usados.

Se os valores mínimos estabelecidos em cada país são diversos entre si, o Programa Ambiental das Nações Unidas (2011) verificou que os códigos utilizados em diferentes países, como referência para se realizar os testes de avaliação dos produtos em laboratório, são, em geral, os elaborados pelo *International Electrotechnical Comission*, o que indica uma certa harmonização internacional dos procedimentos para testes.

No Brasil, uma particularidade existente em relação a outros países, é que apenas a eficiência luminosa é requisito de qualidade observado pela normatização. Isto ocorre também no Japão. Todos os outros parâmetros de qualidade de iluminação como fidelidade de cores, temperatura de cor e vida útil do produto não são escopo de normatização obrigatória.

A seguir serão apresentadas as comparações feitas pelo Programa Ambiental das Nações Unidas (2011) acerca da normatização da eficiência luminosa para lâmpadas fluorescentes compactas em alguns países. A Tabela 5 mostra os valores mínimos de eficiência luminosa exigidos na China para lâmpadas fluorescentes compactas, bem como valores considerados bons e ótimos cuja observância é voluntária. Esta norma se aplica apenas a "lâmpadas fluorescentes compactas com reatores, com soquete tipo Edison ou baioneta, voltagem de 220V, frequência de 50Hz, potência de até 60W e sem recobrimentos". A Tabela 6 mostra

valores de eficiência luminosa exigidos no Brasil, e valores que recebem a etiqueta de eficiência do Procel cujo cumprimento é voluntário.

Tabela 5. Valores de eficiência luminosa exigidos na China e valores cujo cumprimento é voluntário, para lâmpadas fluorescentes compactas. Os níveis "eficientes" e "muito eficientes não são obrigatórios.

Faixa de potência (W)	Eficiência luminosa inicial (lm/W)					
	Temperatura de cor (6500K, 5000K)			Temperatura de cor (4000K, 3500K, 3000K, 2700K)		
	Muito eficiente	Eficiente	Mínimo exigido	Muito eficiente	Eficiente	Mínimo Exigido
5-8	54	46	36	58	50	40
9-14	62	54	44	66	58	48
15-24	69	61	51	73	65	55
25-60	75	67	57	78	70	60

Fonte: Programa Ambiental das Nações Unidas (2011).

Tabela 6. Eficiência luminosa mínima exigida no Brasil e níveis de cumprimento voluntário considerados eficientes pelo Procel, para lâmpadas fluorescentes compactas.

Potência (W)	Requisito mínimo (lm/W)	Selo de eficiência Procel
Menor que 8	43	48
8<potência da lâmpada<15	50	55
15<potência da lâmpada<25	55	60
>25	57	62

Fonte: Programa Ambiental das Nações Unidas (2011).

A Tabela 7 mostra uma comparação entre níveis mínimos de eficiência luminosa exigidos no Brasil, China e Estados Unidos. Percebe-se que os valores são semelhantes entre China e Brasil. Comparando com os Estados Unidos, estes valores são levemente discrepantes, sendo que o Brasil é um pouco mais restritivo com relação à eficiência luminosa para lâmpadas fluorescentes compactas de 10W a 14W, e um pouco mais permissivo para valores entre 15W e 23W.

Tabela 7. Níveis mínimos de eficiência luminosa exigidos no Brasil, China e Estados Unidos, para lâmpadas fluorescentes compactas.

Potência (W)	Eficiência luminosa mínima (lm/W)		
	Brasil	China	Estados Unidos
10	50	48	45
11	50	48	45
12	50	48	45
13	50	48	45
14	50	48	45
15	50	55	60
16	55	55	60
17	55	55	60
18	55	55	60
19	55	55	60
20	55	55	60
21	55	55	60
22	55	55	60
23	55	55	60

Fonte: Programa Ambiental das Nações Unidas (2011).

2.6.3. Requisitos mínimos de qualidade para LED

Os primeiros códigos de normatização para LED foram desenvolvidos em alguns poucos países, incluindo China, Estados Unidos e por algumas entidades normatizadoras como o *International Electrotechnical Comission*. Requisitos mínimos de índice de reprodução de cores, manutenção de cores, temperatura de cor são estabelecidos em todos estes códigos. Quanto à eficiência luminosa, as normatizações elaboradas nos Estados Unidos e China exigem valores similares, entre 40 lm/W e 60 lm/W, enquanto o *International Electrotechnical Comission* não aborda esta questão. Espera-se que a normatização de LEDs ocorra de forma harmônica a nível internacional, diferente do que ocorreu com as lâmpadas fluorescentes. Para isto é necessário aproveitar o momento de legislação incipiente e elaborar regulamentos unificados (PROGRAMA AMBIENTAL DAS NAÇÕES UNIDAS, 2011).

2.7. Normatização da iluminação na edificação

Além da qualidade dos produtos de iluminação, também é escopo de normatização a iluminação dos espaços edificados. Serão apresentados neste tópico alguns dos principais códigos de normatização da iluminação em edificações.

O código ASHRAE 90.1 é um dos códigos de normatização mais aceitos nos Estados Unidos e é usado como referência para adaptações em outros países. Este código define parâmetros mínimos de desempenho energético aceitáveis para edificações (exceto edificações residenciais com três pavimentos ou menos). No que tange à iluminação do

edifício, o código normatiza os controles da iluminação e as densidades de potência permitidas.

Quanto ao controle da iluminação, a versão em vigor atualmente, ASHRAE 90.1-2010, elaborada pelo *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (2010), exige:

a) controle automático para toda a iluminação do edifício, para o desligamento da iluminação de todos os espaços. Este controle pode ser feito por meio de um sensor de presença que indique que o espaço se encontra desocupado, ou por um sinal de presença enviado por outro dispositivo ou alarme, ou ainda por um relógio que desligue automaticamente a iluminação em determinados horários.

b) controle manual individual da iluminação de cada espaço. Este controle deverá ser dimerizável, ou ter a possibilidade de utilizar algum valor entre 30% e 70% da potência total de iluminação, além de 100% e do desligamento total. Nos casos em que houver iluminação natural em uma parte do ambiente (perto das janelas ou abaixo de zenitais) a iluminação artificial da área iluminada naturalmente deverá ser controlada separadamente. Este controle poderá ser dimerizável ou que permita o uso de algum valor menor que 35% e outro entre 50% e 70% da potência total instalada.

c) controles para iluminação exterior, que desligue ou reduza a potência instalada durante a noite ou quando sensores não indicarem movimento.

Quanto à densidade de potência instalada, o ASHRAE 90.1-2010, permite o cálculo por dois métodos: o método por função do edifício e o método por função do espaço. A Tabela 8 mostra exemplos de densidades de potência máxima permitidas segundo o método de função do edifício e a Tabela 9 por função do espaço. O ASHRAE 90.1-2010 estabelece exceções para uma série de situações, que não serão comentadas neste estudo.

Tabela 8. Densidades de potência de iluminação máximas, de acordo com a função do edifício, estabelecidos pela ASHRAE.

Função do edifício	Densidade de potência de iluminação (W/m²)
Instalações para automóveis	8,82
Centro de Convenções	11,62
Tribunal	11,29
Jantar: Bar/lazer	10,65
Jantar: cafeteria/fast food	9,68
Jantar: família	9,57
Dormitório	6,56
Centro de exercícios	9,46
Hotel	10,76
Escritório	9,68
Escola/Universidade	10,65

Fonte: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (2010).

Na China, o Código de Eficiência Energética para Edificações Públicas GB50189-2005, define os requerimentos mínimos de eficiência energética para iluminação em edificações públicas. O controle da iluminação artificial é feito pelo estabelecimento de valores máximos de potência por metro quadrado para cada tipo de espaço. Não existe valor máximo de potência por metro quadrado para o edifício inteiro, mas para cada ambiente com função determinada, seja ele um escritório, sala de aula, sala de espera, laboratório, entre outros (HONG, 2009). A Tabela 10 mostra alguns dos valores estabelecidos.

Tabela 9. Densidades de potência de iluminação máximas, de acordo com a função do espaço, estabelecidos pela ASHRAE.

Função do espaço	Densidade de potência de iluminação (W/m²)
Hotel	
Sala de Visitas	11,94
Lobby	11,40
Sala de aula/leitura/treinamento	13,34
Laboratório	
Para sala de aula	13,77
Para pesquisa médica/industrial	19,47
Escritório	
Fechado	11,94
Plano aberto	10,54
Escadas	7,42

Fonte: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (2010).

Tabela 10. Valores máximos de densidade de potência luminosa por espaço de acordo com o Código de Eficiência Energética para Edificações Públicas GB50189-2005 da China.

Espaço	Valor máximo de densidade de potência de iluminação (W/m²)
Prédios de escritório	
Escritório	11
Sala de conferência	11
Escritório de alto padrão	18
Hotéis	
Sala de visitas	15
Lobby	15
Escolas	
Sala de aula	15
Laboratório	11

Fonte: Hong (2009).

Hong (2009) aponta a aparente contradição do código chinês com os princípios da sustentabilidade ao permitir que "Escritórios de alto padrão" possam consumir maior quantidade de energia. Comparando estes valores com os Requisitos Técnicos de Qualidade para Edifícios Comerciais (RTQ-C), publicado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior (2010), que dispõe sobre o programa de etiquetagem voluntária do INMETRO no Brasil, nota-se que a densidade de potência de iluminação exigida na China é próxima ao que é exigido no Brasil, porém o RTQ-C não é obrigatório. O RTQ-C apresenta um método de classificação por função do edifício e um por função de cada ambiente, semelhante ao ASHRAE 90.1, como indicado nas Tabelas 11 e 12. Esta semelhança se deve ao fato de que tanto o RTQ-C quanto o código chinês se basearam no ASHRAE 90.1 no que diz respeito ao estabelecimento de limites de densidade de potência de iluminação, seguindo os mesmos métodos, porém com valores adequados à realidade de cada país.

Tabela 11. Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício (RTQ-C).

Função do edifício	Valor máximo de densidade de potência de iluminação (W/m²) Nível A	Valor máximo de densidade de potência de iluminação (W/m²) Nível B	Valor máximo de densidade de potência de iluminação (W/m²) Nível C	Valor máximo de densidade de potência de iluminação (W/m²) Nível D
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Hotel	10,8	12,4	14,0	15,7
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5

Fonte: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior (2010).

O RTQ-C é em geral mais permissivo que o código americano ASHRAE 90.1-2010. Por exemplo, analisando uma sala de escritório (no método de função por espaço da ASHRAE 90.1-2010, equivalente ao método por ambientes/atividades do RTQ-C), verifica-se que o código americano permite um máximo de 11,94 W/m² em uma sala de escritório fechada. Segundo o RTQ-C este valor seria quase suficiente para classificar o ambiente como Nível A. O RTQ-C também estabelece requisitos para os controles de iluminação, assim como o código americano. No código americano, porém, todos os requisitos de controle são obrigatórios, enquanto no RTQ-C a falta dos dispositivos de controle são fatores que desqualificam o edifício, rebaixando sua nota final, mas não obrigatórios.

Tabela 12. Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação para o nível de eficiência pretendido – Método das atividades do espaço (RTQ-C).

Ambientes/Atividades	Valor máximo de densidade de potência de iluminação (W/m²) Nível A	Valor máximo de densidade de potência de iluminação (W/m²) Nível B	Valor máximo de densidade de potência de iluminação (W/m²) Nível C	Valor máximo de densidade de potência de iluminação (W/m²) Nível D
Escritório	11,90	14,28	16,66	19,04
Hall de entrada - Hotel	8,00	9,60	11,20	12,80
Laboratório para salas de aula	10,20	12,24	14,28	16,32
Sala de aula/ treinamento	10,20	12,24	14,28	16,32

Fonte: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior (2010).

Ressalta-se que o código americano em questão é um código de normatização (equivalente a uma NBR no Brasil) adotado por muitos estados dos Estados Unidos para estabelecer requisitos mínimos de desempenho para todas as edificações. O RTQ-C é um método de avaliação para certificação voluntária.

Segundo Brendolan (2012), a metodologia de avaliação do RTQ-C, que considera a eficiência energética do projeto de iluminação como único fator qualitativo, entra em choque com as práticas projetuais existentes no mercado, que atendem a outros valores. O estudo simulou a certificação de projetos luminotécnicos premiados pela ABILUX e, portanto, considerados como exemplares para o mercado, e enumerou os problemas encontrados.

O primeiro problema citado é a falta de informações nos projetos necessárias para se realizar a avaliação segundo o RTQ-C. Estas informações não estavam especificadas, o que leva a crer que atualmente, não é uma prática projetual incluir informações como a potência dos reatores, bem como o local dos interruptores nos projetos luminotécnicos. Outro problema citado é a dificuldade de interpretação do método de avaliação do RTQ-C. Isto foi notado na avaliação de ambientes multifuncionais. O RTQ-C não trata de forma específica a avaliação de ambientes com mais de uma função. Nestes casos foi necessário classificar o ambiente e avaliá-lo de acordo com apenas uma de suas funções, ou subdividi-lo em mais ambientes com funções específicas, mesmo que esta subdivisão não seja aceita pelo método. A multifuncionalidade dos ambientes leva ainda a uma densidade de potência instalada muito alta, para atender a todas as tarefas que serão executadas ali, mesmo que não seja de forma simultânea. O RTQ-C não prevê a situação de uso não simultâneo, pois quanto maior a potência instalada, menor a nota final. O estudo sugeriu que a área destes ambientes fosse multiplicada pelo número de funções exercidas, para efeito de avaliação. Por fim, os projetos luminotécnicos valorizam efeitos visuais diversos, que necessitam de grande consumo de energia para serem reproduzidos. Isto ocorre principalmente com iluminação indireta (BRENDOLAN, 2012).

No estudo em questão, foi simulada a avaliação dos mesmos projetos, após uma série de medidas que tornariam os edifícios mais eficientes. Estas medidas foram: atendimento total aos requisitos de controle de iluminação (os projetos analisados não atendiam a estes requisitos); troca de lâmpadas ineficientes, como incandescentes e halógenas, por lâmpadas eficientes como LED e fluorescentes; e considerar, para efeitos de avaliação, a metade da potência instalada, admitindo-se que já eram previstos nos projetos controles dimerizáveis, que permitem utilizar apenas uma parte da potência instalada. Mesmo considerando-se todos estes efeitos para a avaliação, todos os projetos mantiveram uma classificação baixa, em sua maioria a etiqueta E. A explicação, segundo o estudo, seria justamente os efeitos visuais utilizados, que se valem de iluminação indireta e consomem grande quantidade de energia. Neste caso, existe também um problema externo ao RTQ-C que são as práticas de mercado que ainda não absorveram os conceitos de racionalização energética (BRENDOLAN, 2012).

Os projetos luminotécnicos, em especial os de decoração, especificam produtos de fornecedores que não disponibilizam informações para o cálculo. O conforto visual e os efeitos visuais são prioridade para a maioria dos projetos luminotécnicos, e pode ser constatada a ausência de preocupações com a eficiência energética na prática projetual até então. Para Brendolan (2012), é necessária uma compatibilização entre projetistas luminotécnicos e o RTQ-C. Os projetistas devem se familiarizar com as novas questões de eficiência energética, e o RTQ-C deverá ser mais flexível com os projetos luminotécnicos, permitindo que sua eficiência não inviabilize o conforto visual e até mesmo certos efeitos estéticos. Outra ressalva do estudo chama a atenção para a iluminação natural, que tem pouca relevância tanto para os projetistas luminotécnicos quanto para o RTQ-C. O conhecimento das formas de aproveitamento da iluminação natural poderia favorecer os diversos objetivos, sejam de eficiência energética, sejam de conforto visual e estética. Na prática, os estudos são sempre focados na iluminação artificial (BRENDOLAN, 2012).

No Brasil, a regulamentação da iluminação de interiores era feita pela NBR 5413 (Iluminância de interiores) até 2013. Esta norma tratava somente de níveis aceitáveis de iluminância nos planos de trabalho dos ambientes. Por ter sido publicada em 1992, esta norma já se encontrava desatualizada, com valores superdimensionados em face à realidade projetual. A NBR 5413 foi cancelada e substituída em 2013 pela NBR ISO/CIE 8995-1 (Iluminação de ambientes de trabalho), para ser idêntica à norma internacional ISO 8995 (*Lighting of work places)*. Nesta nova versão serão estipulados não apenas níveis mínimos de iluminâncias na área de tarefa, mas também valores máximos para ofuscamento, recomendações quanto a direcionalidade, valores mínimos para o índice geral de reprodução de cores, recomendações de projeto para o tratamento da luz natural (como brises e sombreamento das janelas) e recomendações quanto à manutenção. Todos estes parâmetros são específicos para determinadas atividades (ABNT, 2012).

2.8. Pesquisas em novas tecnologias

A tecnologia *Oganic Light Emitting Diode* (OLED) é uma fonte de iluminação em desenvolvimento e fase de pesquisas. O princípio desta fonte de iluminação é fornecer uma superfície luminosa ao invés de pontos de luz. A iluminação é difusa, semelhante à luz natural. O produto tem vida útil longa e alta eficiência luminosa. A pesquisa na produção

de OLED é feita no Brasil, desde 2010, através de parceria entre a empresa Philips e a fundação CERTI (Centro de Referência em Tecnologias Inovadoras) com financiamento do BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento) e FUNTEC (Fundo Tecnológico). O desenvolvimento e produção piloto do produto são realizados na Alemanha. No Brasil, estão sendo realizados os estudos dos processos de produção e montagem, logística e especificação. A intenção da Philips é montar uma fábrica de OLED no Brasil, em Santa Catarina (CERTI, 2011).

O progresso nas pesquisas em *Organic Light Emitting Diode* foi considerado "mais lento que o esperado" pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, e foi desconsiderado em seu último estudo de penetração no mercado das tecnologias com potencial para racionamento de energia em iluminação geral. De fato, o foco dos estudos de penetração no mercado deixou de considerar as *Solid-State Lighting* em geral, como nos anos anteriores, para analisar a tecnologia LED apenas. Como já exposto anteriormente, o Departamento de Energia dos Estados Unidos é um grande investidor no desenvolvimento da tecnologia LED (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2012b).

O Programa Nacional das Nações Unidas (2011) também desconsiderou a comercialização desta tecnologia no curto e médio prazo em seus estudos e decidiu focar no desenvolvimento da tecnologia LED.

Pesquisadores da Universidade de Wake Forest, dos EUA, estão desenvolvendo um polímero eletroluminescente chamado FIPEL (*field-induced polymer electroluminescence*), que recebe cargas de corrente alternadas para produzir luz. A matriz do polímero é composta com nanotecnologia (CHEN et al., 2013). Segundo entrevista dada ao noticiário eletrônico PHYS.org, a luz emitida por esta tecnologia tem uma série de vantagens: a qualidade é melhor que a de fluorescentes e LED, se aproximando mais da luz natural do Sol, e é mais duradoura e eficiente. A Universidade de Wake Forest já iniciou parcerias com empresas para disponibilizar o produto comercialmente no ano de 2013 (WAKE FOREST UNIVERSITY, 2012).

As lâmpadas FIPEL são flexíveis, devido ao seu material plástico e não são agressivas ao meio ambiente, o que as tornam inofensivas após o descarte. Outra vantagem desta tecnologia é a simplicidade de produção, se comparada com a lâmpada fluorescente compacta, cuja produção é mais complexa. A tecnologia para a condução de eletricidade através de um polímero já existia anteriormente a esta pesquisa, porém não produzia luz suficiente. A novidade está na adição de nanotubos de carbono para a mudança das propriedades do material, o que permite maior produção de luz (ANTHONY, 2012).

Pesquisadores da Bélgica em parceria com pesquisadores do Canadá desenvolveram recentemente uma película que pode ser aplicada em um LED convencional aumentando em 55% sua radiância. Esta película foi inspirada no mecanismo natural encontrado em uma espécie de vaga-lume, que permite extrair eficientemente a luz produzida. O ganho pode ser explicado pelo fenômeno de refração da luz. Em um dispositivo LED comum, sua superfície plana não favorece a refração dos raios de luz que sofrem reflexão interna ao material, pois raios de luz com angulação acima do ângulo crítico de refração não passam de um meio para o outro (neste caso, do LED para a atmosfera). A solução que já existia

naturalmente no inseto é uma camada externa escamada, chamada pelos pesquisadores de "forma de telhado de indústria", que permite com que a maior quantidade de raios de luz passe de um meio para o outro por refração (BAY et al., 2013).

Na Universidade de Georgia, um grupo de pesquisa desenvolveu uma lâmpada LED que emite uma luz amarelada e quente semelhante à das incandescentes. O uso de LED em ambientes internos dos edifícios é geralmente refutado pelos clientes por emitir uma luz branca azulada, fria. Esta propriedade da luz é chamada de temperatura de cor e medida em Kelvins. Lâmpadas com temperaturas acima de 5000 Kelvins são brancas azuladas, enquanto abaixo de 4000 Kelvin emitem uma luz amarelada semelhante à das incandescentes. Outra propriedade da luz, que em lâmpadas LED normalmente apresenta baixos valores, é o índice de reprodução de cores. Esta propriedade mede a fidelidade à luz natural e é medida em uma escala de 1 a 100. Valores acima de 80 neste caso são ideais. A lâmpada LED desenvolvida na Universidade de Georgia apresenta valores ótimos para ambas as propriedades. A comercialização deste produto, no entanto não é viável ainda, pois esta nova lâmpada tem uma eficiência luminosa bastante reduzida em comparação com LED comum, e o processo de fabricação é bastante sofisticado (FAHMY, 2013).

Recentemente foi divulgada a criação de lâmpadas LED que geram até 1600 lumens com apenas 12 W de potência. Esta quantidade de lumens é a mesma gerada por lâmpadas incandescentes, mas com 100 W de potência. Isto representa um grande avanço em termos de eficiência energética em iluminação. Estas lâmpadas já estão em fase de comercialização e fazem parte de uma plataforma de arrecadação de fundos para desenvolvimento de novas tecnologias, o *Kickstarter.com*. Nesta plataforma, os inventores de uma nova tecnologia pedem abertamente ao público contribuições financeiras, com o objetivo de arrecadar o montante necessário para comercialização. O projeto é de autoria de universitários da Universidade de Toronto, Canadá, porém a comercialização do produto é feita de forma independente. Os criadores afirmam que este produto emite mais luz e que os raios luminoso são multidirecionais, o que o torna diferente da maioria das luminárias LED disponíveis no mercado. Além disto produzem menos da metade do calor gerado por fluorescentes compactas e outras LED e podem substituir lâmpadas incandescentes comuns, devido ao seu encaixe (TAYLOR, 2013).

3. Estado da arte em envoltória

3.1. Características da envoltória

A envoltória de uma edificação é composta por todos os elementos que separam o ambiente interno do ambiente externo. Por ser o limite entre estes dois ambientes, a envoltória é responsável pelas trocas térmicas entre eles. As trocas ocorrem por radiação, convecção e condução. Os materiais e formas das envoltórias podem facilitar ou dificultar estas trocas. O tipo de envoltória mais adequada para cada situação depende muito das características climáticas do local onde está localizada a edificação.

Serão discutidos abaixo alguns dos principais sistemas construtivos e tecnologias empregadas em envoltórias. Também serão apresentadas as propriedades físicas dos materiais que influenciam em seu desempenho térmico e energético, que são medidas por procedimentos normativos. Serão apresentados exemplos de códigos de normatização e etiquetagem de envoltórias.

A etiquetagem individual dos componentes da envoltória é importante no controle de suas propriedades físicas que interferirão no desempenho energético da edificação. Esta etiquetagem comunica as propriedades do componente, possibilitando a escolha consciente ao construtor ou usuário da edificação. Exemplos de etiquetagem de componentes são o *National Fenestration Rating Council* (NFRC), que etiqueta aberturas, e o *Cool Roof Rating Council*, que etiqueta coberturas frias. Estas associações de normatização, ambas dos Estados Unidos, serão apresentadas adiante.

3.2. Paredes e piso

As paredes e o piso, assim como a envoltória em geral, podem ser feitos utilizando uma variedade muito grande de materiais. O seu desempenho térmico pode ser medido, independentemente dos materiais, por propriedades como a transmitância térmica ou resistência térmica, dentre outras. A resistência térmica mede a capacidade de o material resistir ao fluxo de calor. Quanto menor, mais facilidade o material terá em conduzir o calor. Este valor por sua vez, depende da condutividade térmica de cada material e da quantidade de material. A transmitância térmica é o inverso da resistência térmica, e mede a capacidade de o material transmitir o fluxo de calor (ABNT, 2005).

Códigos de normatização do desempenho energético de edificações, bem como as certificações, exigem em geral valores mínimos de resistência térmica, ou máximos de transmitância térmica para a envoltória. Estes valores variam de acordo com o local em que a edificação está inserida e se a edificação é artificialmente ou naturalmente condicionada. Um exemplo de código que exige valores mínimos de resistência térmica é o ASHRAE 90.1, dos Estados Unidos (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2010).

O RTQ-C, do Brasil, exige valores máximos de transmitância térmica (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMERCIO EXTERIOR, 2010). Uma alta resistência térmica torna o ambiente interno menos dependente das variações do ambiente

externo. As paredes convencionais possuem valores de resistência térmica relativamente baixos, por isso é necessário quase sempre a adição de mais material para aumentar estes valores. Os materiais isolantes utilizados têm baixas condutividades térmicas por natureza. A quantidade em que estes materiais são aplicados também influencia na resistência da envoltória, como será visto adiante.

Existem formas de intervenção para aumentar o isolamento térmico das paredes de uma edificação. Nos Estados Unidos e Europa, predominam sistemas de isolamentos internos para reformas de edificações existentes, que são feitas adicionando-se materiais isolantes nas cavidades interiores das paredes já existentes. Esta solução é possível em edificações que possuem paredes duplas (com espaçamento entre as paredes) ou ocas (como as de *Woodframe*), mas raramente pode ser aplicada em edificações já existentes no Brasil, que possuem paredes de alvenaria predominantemente. Mesmo em países em que as edificações já são naturalmente preparadas para enfrentar climas adversos, esta limitação pode ser um problema. Os materiais usados para isolamento variam; os mais comuns são: lã de rocha, lã de vidro, fibra de plástico, poliestireno expandido e poliuretano expandido. Para novas edificações, o isolamento interno deve ser considerado ainda na fase de projeto, o que evita que mais material precise ser adicionado posteriormente (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2013).

O isolamento externo, em reformas de edificações existentes, é mais complexo, pois exige que um novo revestimento seja colocado, além da camada de isolante térmico, externo à parede já existente. Em uma parede de alvenaria única, isto é, que não seja uma parede dupla com espaçamento no interior (o mais comum no Brasil), esta é a única solução possível. As principais complicações deste sistema são a fixação de um novo revestimento à parede e complicações com a impermeabilização. Estes problemas dificultam a aplicação dos códigos de eficiência energética em edificações existentes. Estudos de sistemas construtivos adequados para este isolamento foram desenvolvidos nos Estados Unidos, mas como são novos, ainda não são acreditados pelos códigos de normatização (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2013).

Pesquisas em novos materiais para a envoltória estão sendo realizadas. Uma destas linhas de pesquisa investiga materiais que mudam da fase (*phase change materials*, ou PCMs) quanto expostos a variações de temperaturas do ambiente, que ocorrem durante o dia, a noite e ao longo do ano. Como a temperatura destes materiais se mantém constante durante a mudança de fase, o ambiente interno da edificação sofre uma menor variação de temperatura, o que reflete em economia no consumo de energia para climatização artificial. Experimentos feitos com a aplicação de um destes materiais na envoltória de edificações, mostraram uma economia de 8% no consumo de energia relacionado ao resfriamento artificial necessário para compensar os ganhos de calor pelas paredes. A economia de energia que pode ser alcançada depende da zona bioclimática em que a edificação está inserida, da orientação solar, da fachada analisada e de outros fatores como a posição do material dentro da parede. Quando analisada apenas a fachada oeste, a economia de energia para resfriamento chega a 84% com o uso do material, considerando a zona bioclimática específica em que foi testada a edificação (CHILDS et al., 2012).

Estudos de custo/benefício da aplicação de PCMs em envoltórias de edificações, demonstraram que o retorno financeiro seria dado após um período de 7 a 10 anos, a

depender de fatores como condições bioclimáticas e a qualidade do sistema de ar condicionado. Espera-se reduzir o custo dos PCMs no futuro com o desenvolvimento da pesquisa nesta área (KOSNY et al., 2013).

3.3. Aberturas

As aberturas são os elementos da envoltória que normalmente realizam trocas térmicas com mais intensidade. São as portas, janelas e aberturas zenitais. O NFRC (*National Fenestration Rating Council)* (2006), uma entidade de normatização e certificação de aberturas dos Estados Unidos, estabelece cinco parâmetros para medir o desempenho dos produtos certificados. São eles: transmitância térmica, coeficiente de ganho solar, transmitância visível, infiltração de ar e resistência à condensação. Em alguns produtos apenas alguns destes parâmetros podem ser medidos.

As janelas mais simples são compostas apenas por uma folha de vidro e as esquadrias, o que permite trocas de calor sem oferecer muita resistência. Janelas mais complexas são compostas por duas ou mais folhas de vidro, um espaçador que separa estas folhas e um gás isolante preenchendo o vazio entre elas, além das esquadrias. Elas podem contar ainda com películas de baixa emissividade e outros tratamentos especiais nos vidros. Estas janelas oferecem mais resistência às trocas térmicas entre o ambiente interno e externo.

A película de baixa emissividade é um produto já disponível no mercado, que pode ser aplicada sobre uma janela comum. Esta película, quando aplicada na parte envidraçada de uma janela, altera os seus valores de transmitância térmica e absortância. Para a demonstração dos ganhos que esta película pode proporcionar, foi feito um estudo comparativo entre diferentes medidas de eficiência energética em novas e antigas edificações, em zonas bioclimáticas da Califórnia. Através de simulação computacional, usando como modelos edificações descritas por *benchmarks* de códigos locais, foi feita a comparação dos períodos de retorno de investimento de diversas medidas como: isolamento térmico, selamento das infiltrações de ar, troca do aparelho de ar condicionado, e outros. A conclusão é que a aplicação de películas de baixo coeficiente de ganho solar e baixa transmitância térmica é a medida de eficiência energética com menor período de retorno para o *retrofit* de edificações antigas. Para edificações novas, as medidas de isolamento térmico têm um melhor custo/benefício (INTERNATIONAL WINDOW FILM ASSOCIATION, 2012).

O NFRC está desenvolvendo metodologias padronizadas para a avaliação de tecnologias mais avançadas de controle térmico em aberturas, como janelas eletrocrômicas, fotoativas, isoladas a vácuo e fotovoltaicas. As janelas eletrocrômicas são aquelas capazes de mudar suas propriedades físicas como transmitância térmica, transmitância visível e coeficiente de ganho solar, de acordo com o acionamento de uma corrente elétrica. As fotoativas são capazes de mudar estas propriedades de acordo com a incidência de raios solares. As isoladas a vácuo têm o ar removido do interior de suas folhas de vidro, proporcionando maior isolamento térmico. As fotovoltaicas têm uma película de células que geram eletricidade a partir dos raios solares, e são transparentes (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2011a).

Estas novas tecnologias são chamadas de *Dynamic Glazing*, ou "janelas inteligentes". Elas dão ao ocupante da edificação maior controle sobre o ambiente interno. Algumas das janelas eletrocrômicas são estimuladas por corrente elétrica dimerizável, o que amplifica a capacidade de resposta do ocupante às condições naturais externas, buscando as melhores condições de conforto ambiental. Outros modelos de janelas contam com sombreamento automático interno às folhas de vidro, uma espécie de veneziana com aberturas ajustáveis, embutida na janela (NATIONAL FENESTRATION RATING COUNCIL, 2006).

Tecnologias como as películas eletrocrômicas ainda são bastante caras e não são predominantes no mercado. O Departamento de Energia dos Estados Unidos recentemente aprovou três milhões de dólares para que pesquisas em películas eletrocrômicas sejam realizadas pela Universidade de Berkley, Califórnia. O intuito destas pesquisas é reduzir o custo de produção do produto e torná-lo acessível ao mercado (WEINER, 2012).

A tecnologia de películas fotovoltaicas ainda está em fase de pesquisas. A Universidade da Califórnia divulgou recentemente que desenvolveu películas capazes de converter 4% da radiação infravermelha em eletricidade (painéis fotovoltaicos disponíveis no mercado convertem em média 12,4%). As películas são transparentes e utilizam nanotecnologia em sua produção. O objetivo é atingir 11% de conversão, a um preço acessível ao mercado. A Universidade também trabalha com a possibilidade de produzir uma película que possa ser aplicada por spray (CHEN et al., 2012).

Sobre a relação entre área de aberturas e a área de fachada, verifica-se que a área ideal de abertura envidraçada está, geralmente, entre 10% e 40% da área de fachada, podendo em alguns casos exceder esta faixa. A proporção ideal varia de acordo com as dimensões do ambiente analisado, a orientação solar da fachada e a zona bioclimática em que a edificação está inserida. Esta proporção ideal tente a aumentar em fachadas com menos exposição ao sol. Também tende a aumentar com o aumento da profundidade do ambiente em relação à largura, e com o aumento de todas as dimensões do ambiente proporcionalmente. Obedecendo a esta proporção ideal entre a área de aberturas envidraçadas e a área de fachada, é possível obter o menor consumo energético dos sistemas de ar condicionado e iluminação artificial. O proporção exata para cada caso deve ser obtida por simulação computacional (GHISI et. al., 2005).

Segundo o DOE (Departamento de Energia dos Estados Unidos), existem algumas diferenças entre o IECC 2012 e o ASHRAE *Standard* 90.1-2010, dois regulamentos de requisitos mínimos de desempenho energético para edificações. Uma das diferenças entre os códigos, no que diz respeito à envoltória, é justamente a relação entre a área de aberturas envidraçadas:

> - O IECC 2012 permite uma percentagem de 30% de janelas sobre a envoltória e o *Standard 90.1-2010* permite até 40%. Os percentuais de aberturas zenitais são de 3% e 5%, respectivamente. O IECC 2012 considera para a relação janelas/envoltória, apenas a envoltória acima do nível do solo. O *Standard 90.1-2010* considera para a mesma relação, a envoltória acima e abaixo do nível do solo.
>
> - O IECC permite maior percentagem de janelas numa fachada, se o andar considerado estiver em uma zona de iluminação natural e possuir

> dispositivos automatizados de controle de iluminação (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, p.2, 2012c, tradução nossa).

Assim, verifica-se que os resultados encontrados em Ghisi et. al. (2005) são coerentes com as proporções permitidas pelos regulamentos americanos, porém ressalta-se que a proporção ideal deve ser obtida caso a caso mediante análise.

Segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos (2010d), o maior gasto do governo com pesquisas em produtos eficientes para edificações é direcionado para janelas, em comparação com coberturas e materiais opacos. Isto se deve ao fato de que a resistência térmica média das janelas disponíveis no mercado é de 2 h·ft²·°F/Btu, o que seria igual a 0,35 K·m²/W. Para materiais opacos de vedação como paredes, o valor médio de resistência térmica é de 11 h·ft²·°F/Btu, o que corresponde à 1,93 K·m²/W. Logo, a resistência térmica média de janelas é de cerca de cinco vezes menor que a resistência térmica média em paredes, analisando os produtos comercializados atualmente. Isto representa grandes trocas de calor ocorrendo por janelas, o que é indesejável para edificações climatizadas artificialmente.

3.4. Cobertura

O tipo de cobertura de uma edificação influencia tanto no seu desempenho energético quanto na formação de ilhas de calor, no contexto urbano. Em locais de climas quentes, é recomendada a construção de coberturas frias, que são coberturas com alta refletância solar e alta emitância de radiação. No contexto de mercado estes modelos já são viáveis e com preços similares a outras opções. Estas coberturas mantêm o ambiente interno menos dependente das condições climáticas externas. Isto reduz os gastos com energia para equipamentos de ar-condicionado da mesma forma que os isolamentos em geral para envoltória. Além disto, devido ao efeito de ilha de calor, a cobertura fria reduz a temperatura do ambiente externo, se aplicada em um grande número de edificações. A redução de temperatura que pode ser alcançada, entretanto, não foi medida e validada. Para climas frios, coberturas frias não são recomendadas, porque dificultam o ganho de calor pela edificação.

O *Cool Roof Rating Council* é uma entidade que certifica produtos com propriedades físicas que conferem a característica de coberturas frias. As propriedades físicas medidas para certificação de coberturas frias são refletância solar e emitância. A refletância solar é a propriedade do material de refletir parte da radiação solar que incide sobre ele. A radiação que não é refletida pode ser absorvida (o que esquenta o material) ou transmitida para o ambiente interno. A emitância é a propriedade do material de emitir radiação e com isto perder energia. No caso de uma cobertura, este fenômeno retira calor do ambiente interno. Estas propriedades dependem do material com o qual é feita a cobertura.

O coeficiente de refletância solar (*Solar Reflectance Index*), ou SRI, é uma unidade de medida calculada a partir destas duas primeiras. Esta terceira unidade de medida é utilizada como referência para alguns códigos, por exemplo, o LEED e códigos obrigatórios nos Estados Unidos. É possível elevar os baixos valores de refletância solar e emitância de uma cobertura aplicando produtos de revestimento com esta finalidade em sua superfície,

geralmente pinturas e resinas. No entanto, os ganhos em energia economizada, com esta medida apenas, não são capazes de pagar o custo do processo. Por este motivo, o tratamento de cobertura fria deve ser feito apenas quando o objetivo principal for a manutenção e conservação da cobertura, visto que as pinturas e resinas empregadas como revestimento são necessárias normalmente para se estender a vida útil do produto. Os ganhos energéticos com a aplicação de materiais isolantes na cobertura são bem maiores (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2010a).

Materiais comumente empregados para o revestimento da cobertura são mostrados na Tabela 13. Estes materiais podem ter valores altos ou baixos de refletância solar e emitância, portanto estes valores devem ser conferidos antes da aplicação, se o intuito é fazer o tratamento de cobertura fria.

Tabela 13. Materiais usados para revestimento de coberturas que dispõem de opções com propriedades de coberturas frias.

Material	Propriedades
Acrílico	À base de água, de fácil manuseio, com boa aderência à maioria das coberturas, tratamento refletivo mais utilizado, razoavelmente forte, sensível a mudanças climáticas.
Silicone	À base de solvente, usado tipicamente para coberturas de poliuretano, resiste ao clima muito bem, não suporta forças de tensão, boa resistência à água.
Uretano	À base de solvente, de três a dez vezes mais forte que acrílico, menos sensível ao clima, difícil de manusear.

Fonte: Departamento de Energia dos Estados Unidos (2010a).

Coberturas verdes têm em geral as propriedades térmicas de coberturas frias, e adicionalmente eliminam o calor da edificação por evaporação, mas têm um custo elevado de construção e manutenção. Os maiores problemas encontrados para a comercialização de coberturas frias são: a falta de estudos que demonstrem quantitativamente quanta energia é possível poupar individualmente em cada edificação; não foram provados ainda os custos/benefícios da aplicação; e o fato de que para que realmente funcionem durante o tempo, estas coberturas necessitam de maiores cuidados com a manutenção, pois os resíduos acumulados alteram as propriedades térmicas (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2010b).

O isolamento térmico da cobertura é indicado tanto para climas frios quanto para climas quentes. Materiais comumente empregados para o isolamento térmico são os mesmos utilizados para o isolamento das paredes: lã de rocha, lã de vidro, fibra de plástico, poliestireno expandido e poliuretano expandido. A aplicação pode ser feita: por spray, no caso de espumas rígidas como o poli cianureto e poliuretano; por placas de espumas rígidas; por mantas de fibra de vidro, fibra de plástico, ou fibra de rocha; ou por bombeamento de material isolante solto, utilizando celulose, fibra de vidro ou fibra de rocha (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2010a).

3.5. Normatização do desempenho térmico da envoltória

Neste estudo serão analisados, como exemplo expositivo, o código de normatização ASHRAE 90.1 e a certificação *LEED 2009 for New Construction and Major Renovations.* Estes códigos serão comparados ao RTQ brasileiro.

Os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) estabelecem dois Pré-Requisitos para avaliação, como itens necessários para se obter uma classificação mínima. Segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior (2010), estes Pré-requisitos são:

a) Valores de transmitância térmica máximos, específicos para cada zona bioclimática brasileira e diferentes para cobertura e paredes externas.

b) Valores de absortância máximos para superfícies externas, específicos para cada zona bioclimática brasileira. Esta propriedade mede a capacidade de o material ganhar calor por radiação.

Além dos pré-requisitos, o RTQ-C utiliza como critério de avaliação o Índice de Consumo. Este índice é calculado em função das variáveis a seguir, através de uma fórmula específica para cada zona bioclimática. Segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior (2010), as variáveis são:

1) Fator de forma: dado pela relação entre área da envoltória e volume total da edificação (m^2/m^3);

2) Fator de altura: dado pela relação entre área de projeção da cobertura e área total construída (%);

3) Percentual de aberturas na fachada: dado pela relação entre área total de abertura nas fachadas e área total das fachadas (%);

4) Fator solar de vidros: dado pela relação entre o ganho de calor através de aberturas e radiação solar incidente nas aberturas;

5) Ângulos de sombreamento vertical e horizontal gerados por proteções externas nas aberturas.

O código ASHRAE 90.1, elaborado pelo *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (2010) é um dos códigos de normatização mais aceitos nos Estados Unidos e é usado como referência para adaptações em outros países. Este código define parâmetros mínimos de desempenho energético aceitáveis para edificações (exceto edificações residenciais com três pavimentos ou menos). No que diz respeito à envoltória, o ASHRAE 90.1 estabelece:

a) Valores de resistência térmica e transmitância térmica aceitáveis para a envoltória. Estes valores são específicos para cada zona bioclimática, tipo de espaço (condicionado artificialmente, naturalmente ou parcialmente), e tipo de fechamento

(opaco ou translúcido). Estas propriedades medem o isolamento térmico da envoltória, sua capacidade de ganhar calor por condução.

b) Valores máximos de permeabilidade ao ar para todos os componentes da envoltória. Esta propriedade mede a infiltração de ar que a envoltória permite, ou seja, sua capacidade de ganhar calor por convecção.

c) Valores mínimos de refletância e emitância para coberturas, em apenas algumas zonas bioclimáticas.

d) Valores máximos de absortância para aberturas, de acordo com a zona bioclimática. Esta propriedade mede a capacidade de o material ganhar calor por radiação.

e) Para edificações no hemisfério norte, a área de abertura vertical da edificação com orientação para o sul deve ser maior que a área de abertura orientada para o leste e maior que área de abertura orientada para o oeste. Para edificações no hemisfério sul, a área de abertura vertical da edificação com orientação para o norte deve ser maior que a área de abertura orientada para o leste e maior que área de abertura orientada para o oeste. Esta disposição favorece que a edificação receba iluminação natural com qualidade aceitável.

f) Valor máximo permitido para a relação entre área de abertura e área total das paredes, de 40%, bem como para a relação entre a área de aberturas zenitais e de cobertura, de 5%. Para zenitais, também são estabelecidos valores mínimos, de acordo com uma série de características da edificação.

Verifica-se que o código americano baseia-se no princípio de isolamento total da edificação, para que esta seja condicionada artificialmente. Isto fica claro pelo isolamento das infiltrações de ar exigidos, que possibilitam que não ocorra ventilação natural no edifício. O RTQ brasileiro, por sua vez, dá preferência para a ventilação natural da edificação, estabelecendo como critérios de avaliação as aberturas com permissão ao fluxo de ar e o sombreamento das fachadas. Esta diferença é possível devido ao clima tropical do Brasil, que permite que o condicionamento natural do ar seja suficiente para a manutenção do conforto humano na maior parte dos casos, com ressalva para algumas zonas bioclimáticas e períodos do ano, previstos no regulamento.

Alguns dos maiores programas de certificação sustentável internacionais são BREEAM, BRE EcoHomes, LEED, LEED for homes, GBTool entre outros. Estes selos de certificação sustentável de edificações consideram como quesito de pontuação a cadeia de produção dos materiais empregados na construção de um edifício. Em seu conceito de sustentabilidade abrangem uma área muito além da eficiência energética. Os métodos utilizados para avaliação envolvem uma análise extensa de diversos fatores envolvidos desde a produção até o uso final dos materiais, incluindo: energia incorporada, transporte, possibilidade de reciclagem, renovação das fontes, impacto ambiental entre outros. Muitos destes fatores não são quantificáveis (JOHN et al., 2007).

A Certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) foi criada nos Estados Unidos em 1999 pelo *U.S. Green Building Council* (GBC), uma entidade privada sem fins lucrativos. O LEED é muito disseminado no mercado mundial, contando com

versões adaptadas para outros países além dos EUA. É um modelo de certificação voluntária e desenvolvida através do diálogo com representantes do mercado, moldado para ser facilmente absorvido pela construção civil. Atualmente se encontra na versão 2009, após várias revisões e alterações ao longo dos anos. O modelo do LEED se baseia nos códigos de normatização desenvolvidos por entidades reconhecidas, como ASHRAE, ASTM, USEPA e DOE. Para receber um "sim" ou "não" em resposta a cada item de verificação, cada um destes itens será analisado através de cálculos, simulações e projetos que devem estar de acordo com os códigos que tratam de temas específicos. (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2009).

O processo de certificação é feito em duas etapas. Na primeira etapa, o edifício ou projeto deve atender a sete pré-requisitos básicos. Atendendo a estes requisitos inicia-se a segunda etapa. Na segunda etapa o edifício ou projeto é analisado para definir em que grau ele atende aos critérios. O edifício é pontuado, podendo receber ao final o selo "certificado", "prata", "ouro" ou "platina", que correspondem respectivamente da certificação básica até a certificação com maior qualidade e observância aos critérios. A forma de pontuação varia para diferentes tipos de edifício, por exemplo: *LEED 2009 for New Construction and Major Renovations* (pontua edifícios em fase de projeto), *LEED 2009 for Core & Shell Development* (para edifícios em fase de projeto em que o projetista não tem controle dos usos do edifício), *LEED 2009 for Existing Buildings: Operations & Maintenance*, para edifícios já construídos, entre outros.

O *LEED 2009 for New Construction and Major Renovations* estabelece como quesitos principais: Sítios Sustentáveis, Eficiência no uso de água, Energia e Atmosfera, Materiais e Recursos, Qualidade Ambiental Interna. Além destes quesitos principais, são estabelecidos dois quesitos que podem fornecer pontuação extra na avaliação, Inovação no Design e Prioridades Regionais. As prioridades regionais são quesitos específicos para cada país ou localidade disponível no site do GBC. Para lidar com o problema das características locais (em países do mundo inteiro) a última versão do LEED incorporou os *Alternative Compliance Paths*, ou caminhos alternativos para observância aos critérios. Desta forma, em muitos itens, as referências e códigos de normatização norte-americanos podem ser trocados pelos correspondentes locais.

Dentro de cada quesito, estão incluídos os créditos, que são os itens de pontuação. Existem explicações simples das exigências para cumprir cada um dos créditos. O escopo desta certificação é bastante abrangente e não trata apenas do ponto de vista da eficiência energética da edificação. O LEED avalia a sustentabilidade do empreendimento como um todo, considerando o ponto de vista ecológico, o conforto ambiental e até aspectos socioeconômicos. Exemplos disto são os incentivos dados às construções em terrenos que não sejam habitat de espécies animais ou vegetais raras, e em terrenos próximos à linhas de transporte público, para integração do edifício ao tecido urbano. Quanto a eficiência energética, o *LEED 2009 for New Construction and Major Renovations* estabelece como Pré-requisito para avaliação:

> Opção1 – Simulação energética de todo o edifício:
>
> -Demonstrar 10% de redução de desempenho energético em novas construções, ou 5% em grandes renovações e edificações existentes, em comparação com uma *baseline* de desempenho energético de edificações.
>
> A *baseline* deve ser calculada de acordo com o Apêndice G do *ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007* usando um modelo de simulação computacional para todo o projeto.
>
> Opção 2 – Método Prescritivo [...]
>
> (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, p. 53, 2009, tradução nossa).

Para cumprir este pré-requisito em locais fora dos EUA, o LEED disponibiliza um "Caminho Alternativo para Observância" (*Alternative Compliance Path*). Neste caso um código local, com protocolos, unidades de medição e *benchmarks* próprios poderia ser usado em substituição ao *Standard 90.1-2007,* desde que previamente analisado e aprovado pelo *Green Building Council.*

Além deste pré-requisito, é possível aumentar o número de pontos da edificação visando a obtenção de uma melhor classificação final. Para isto, é necessário demonstrar da mesma forma que no pré-requisito anterior que o desempenho energético do edifício é maior que os 10% ou 5% mínimos exigidos para novas construções e construções existentes, respectivamente. A pontuação neste item varia de 1 a 19 pontos, proporcionalmente ao percentual de energia economizado. Esta melhora no desempenho energético é demonstrada, como se vê, em fase de projeto apenas. A medição do consumo energético após a construção e ocupação do edifício é um outro crédito independente, e com menor possibilidade de pontuação, podendo atingir 3 pontos. Esta avaliação permite que muitos edifícios recebam ótimas classificações pelo LEED, pois foram analisados em fase de projeto, mesmo que o edifício construído e ocupado posteriormente não corresponda à classificação.

Um estudo mostrou que edificações com selo LEED consomem em média entre 28% e 39% menos energia que edificações sem a certificação. O estudo fez a comparação com edificações modelo norte americanas. Porém, ao mesmo tempo, de 25% a 35% das edificações analisadas com certificação LEED consomem mais energia que o valor médio consumido por edificações sem certificação. A conclusão é de que o consumo de energia destas edificações tem pouca relação com a certificação, e isto provavelmente se deve ao fato de que o consumo de energia é analisado pelo LEED apenas em fase de projeto. As medidas feitas após a ocupação mostram um consumo mais elevado que o previsto pelos projetos (NEWSHAM et al., 2009).

Verifica-se que o LEED é um código que abrange diversos aspectos da edificação, não contemplados pelo RTQ-C ou pelo ASHRAE 90.1-2010. Este código é mais abrangente, pois se propõe a avaliar a sustentabilidade de todo o edifício, e seu escopo vai além da questão da eficiência energética. O seu real impacto sobre as edificações certificadas é prejudicado pelo fato de a que avaliação é predominantemente feita em fase de projeto, e as medições e verificações das obras concluídas e ocupadas é opcional.

4. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações

Os incentivos à eficiência energética em edificações têm como objetivo principal reduzir o uso desnecessário de energia neste setor. A seguir, foram feitos estudos de caso, a respeito de políticas aplicadas em importantes economias do globo. As ações para se alcançar as metas de eficiência podem ser tomadas pelas autoridades governamentais ou privadas, ou ainda em conjunto. Existe, portanto, a possibilidade de programas com maior ou menor intervenção governamental. Nos casos analisados podem ser observados programas com maior controle Estatal, como o caso da China, e estratégias com maior participação do mercado, em que o Estado faz o papel de articulador e oferece incentivos ao setor privado, como o caso dos Estados Unidos.

O incentivo à eficiência energética do setor de edificações pode ser feita de quatro formas. A primeira forma é com o incentivo de preços, isto é, tornando mais barato os custos relativos aos produtos e serviços eficientes. As outras três formas são relativas a regulamentação, que pode ser dividida em regulamentação dos atores, regulamentação dos materiais e produtos (chamados de *inputs* pelos autores do estudo) e regulamentação do desempenho energético das edificações (chamado de *outputs* pelos autores do estudo) (KADERJÁK et al., 2012).

O incentivo de preços deve ser feito elevando-se o preço da energia (em muitos casos ele é mantido baixo artificialmente por meio de subsídios governamentais) e reduzindo-se o preço dos produtos e serviços eficientes, através de incentivos financeiros. A regulamentação dos atores se refere a obrigações às diversas partes responsáveis pela tomada de ação, sejam os proprietários de edificações, as entidades públicas, ou os fornecedores e distribuidores de energia. Isto é feito obrigando os proprietários dos edifícios (mesmo se este for uma entidade pública) a apresentar uma certificação do edifício para operações de compra, venda ou aluguel, e estabelecendo aos fornecedores de energia metas de redução na venda de energia. A regulamentação dos materiais e produtos (*inputs*) é feita com a normatização e certificação dos elementos construtivos e equipamentos elétricos. A regulamentação do desempenho energético dos edifícios (*outputs*) é feita com a medição e certificação dos edifícios. Observa-se que normalmente, por motivos variados, nem todas estas medidas podem ser tomadas simultaneamente. Deve existir flexibilidade nas suas implementações, como será analisado nos estudos de caso (KADERJÁK et al., 2012).

A regulamentação de desempenhos energéticos mínimos obrigatórios para novas construções é uma ação adotada em todos os casos estudados a seguir, e é um ponto de partida para o controle das novas edificações.

A certificação dos edifícios pode ser obrigatória, como no Reino Unido e China, e voluntária, como nos Estados Unidos. Esta é uma medida que torna possível a verificação do consumo de energia das edificações, pois obriga os proprietários a medir e comunicar seus desempenhos energéticos. Uma vez medido o consumo energético é possível estabelecer desempenhos mínimos também para as edificações existentes. Isto depende de reformas que são custosas, além do desenvolvimento de novos produtos eficientes e que

tenham apelo comercial. Portanto, programas de financiamento e incentivos fiscais para construção e produtos eficientes se fazem necessários.

Os incentivos fiscais são dados também para novas edificações, quando não há obrigatoriedade de desempenhos mínimos, de forma a torná-los empreendimentos mais competitivos. A certificação voluntária é uma maneira de incentivar estes empreendimentos através da comunicação publicitária de seus desempenhos energéticos.

Além destes mecanismos, são necessários métodos de medição da redução real do consumo de energia. Isto permite acompanhar os resultados dos programas de eficiência energética, e identificar os avanços e falhas. Ressalta-se o potencial das novas tecnologias de *Smart Grids* para esta tarefa. Atualmente, este controle é feito através de inspeções *in loco* com procedimentos de medição e verificação, que não serão discutidos neste estudo.

4.1. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações no Brasil

O Ministério de Minas e Energia (2012) aponta que o setor residencial respondia por 9,5% do consumo final de energia no ano de 2011 (incluindo todas as fontes, sejam elas derivadas de petróleo, biomassa, nuclear ou outras). O setor comercial respondia por 2,9% e o público por 1,5%. Quando analisado o consumo de eletricidade apenas, o setor residencial respondia por 23,6%, o comercial por 15,4% e o público por 8,0%, no ano de 2011. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2011), o potencial de redução de consumo de energia em edificações existentes é de 30%, implementando-se ações de eficiência energética nos sistemas de ar condicionado, iluminação e envoltória. Em edificações novas este potencial é de 50%.

Através de uma análise multicritério dos instrumentos de incentivo à eficiência energética conhecidos, foi verificado que a regulamentação de compras públicas e os padrões mandatórios de eficiência energética são medidas com forte potencial para serem implementadas no Brasil (JANNUZZI et al., 2012). O estudo fez comparação de inúmeras formas de incentivo. A regulamentação de compras públicas é uma medida de fácil implementação e com alto potencial de transformação do mercado, enquanto os padrões mandatórios de eficiência energética contam com a experiência prévia consolidada, pois já foram testados ao redor do mundo e demonstraram resultados positivos. Neste sentido, entre diversas estratégias possíveis, as mais viáveis no Brasil seriam:

a) regulamentação de compra de edifícios eficientes pelo poder público.

b) a imposição de padrões mínimos obrigatórios de eficiência energética.

Atualmente, o Brasil possui um selo de certificação voluntária de edificações, a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. A metodologia de cálculo utilizada para avaliação do desempenho energético é a dos Requisitos Técnicos da Qualidade para Edificações (RTQ). O RTQ utiliza algumas metodologias de cálculo normatizadas pela ABNT e outras normatizadas por outras entidades como ASHRAE e ISO. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2011), no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem, o Ministério de Minas e Energia, a Eletrobrás e o INMETRO promoveram a elaboração Requisitos

Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) em 2009 e para uso residencial (RTQ-R) em 2010. Estes documentos utilizam para avaliação da edificação três elementos principais: desempenho térmico da envoltória, eficiência e potência de iluminação artificial instalada e eficiência do sistema de ar-condicionado. Além destes, elementos secundários influem na avaliação. São eles: geração local de energia com fontes renováveis, cogeração, uso racional de água e aproveitamento da luz natural. O Programa Brasileiro de Etiquetagem tem caráter voluntário, mas está entre as diretrizes do Plano Nacional de Eficiência Energética torná-lo compulsório e incluir a avaliação da energia primária dos edifícios, pela análise do ciclo de vida dos materiais usados.

O Brasil possui também uma norma que impõe requisitos mínimos para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, a NBR 15.575 (Edificações Habitacionais – Desempenho). Em 2010 foi tornada obrigatória a NBR 15.575, que normatiza os níveis de desempenho térmico de edifícios habitacionais no Brasil. Esta versão não foi aceita pelo mercado, sendo contestada pelos principais representantes da construção civil, e esteve em revisão até 2012. Comparando a versão da norma que foi tornada obrigatória em 2010 e o RTQ-R, verificou-se que os requisitos técnicos dos dois códigos eram incompatíveis, de modo que a norma era mais restritiva que o regulamento voluntário (LOURA et al., 2011).

A consulta pública aberta pela ABNT em 2012 para a NBR 15575 (Edificações Habitacionais – Desempenho), propôs modificações que a tornam bastante permissiva para o desempenho térmico de edificações. As alterações mais significativas foram feitas no que diz respeito à área de abertura para ventilação, ao sombreamento de aberturas e aos métodos de simulação usados para demonstração de observância aos requisitos (SORGATO et al., 2012). Esta norma entrou em vigor novamente em julho de 2013, modificada (ABNT, 2013).

Quanto à regulamentação de compras públicas, existe no Brasil um decreto presidencial a este respeito, e uma comissão que discute os meios de implementação das diretrizes. O Decreto Presidencial nº 7.746, de 5 de junho de 2012 regulamenta a Lei 8.666/93, que trata de licitações públicas, regulamentando as diretrizes de sustentabilidade que serão dadas às contratações feitas pela administração pública. Dentre as diretrizes estabelecidas estão o uso eficiente de energia e a escolha de materiais com baixo impacto no meio ambiente, que poderão ser exigidos dos projetos executivos por instituição pública oficial ou instituição credenciada. A Comissão Interministerial de Sustentabilidade na Administração Pública – CISAP, criada pelo mesmo decreto, terá a finalidade de propor a implementação das diretrizes, prática e ações de logística de acordo com as diretrizes estabelecidas (BRASIL, 2012).

Segundo o relato da Oficina de Edificações Eficientes, produzido pelo Centro de Gestão e Estudos Energéticos (2012), o Brasil precisa, prioritariamente, comunicar e divulgar os programas de eficiência energética em edificações e capacitar profissionais aptos a lidar com o tema da sustentabilidade em edificações, tanto gestores quanto técnico-administrativos e projetistas. Atenta-se também para a necessidade de desenvolver critérios e métodos para medição de propriedades higrotérmicas de materiais usados na construção civil, adequados ao caso brasileiro, bem como um banco de dados destas propriedades; estimular parcerias público-privadas entre universidades e empresas; criar organismos de

inspeção acreditados; facilitar financiamentos; estabelecer obrigatoriedade da etiquetagem; capacitar mão de obra técnica para atender a soluções construtivas modulares e industrializadas, bem como tornar estas soluções mais vantajosas que as artesanais, através da redução da carga de impostos; interferir nos hábitos dos usuários para redução do consumo energético; facilitar a introdução dos softwares de projeto integrado (BIM), que simulam diversos aspectos da edificação. Nos estudos de caso a seguir, é possível notar que muitas destas medidas necessárias no Brasil já são realidade em outros países.

4.2. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações na China

Uma análise foi feita por pesquisadores sobre as políticas de financiamento e regulamentação para projetos de eficiência energética em edificações na China. Na China o setor de edificações respondeu por aproximadamente 30% do consumo final de energia, incluindo todas as fontes de geração, no ano de 2006. A formulação das leis e regulamentações, políticas de incentivo e sistemas de avaliação do programa de Eficiência Energética para Edificações na China são escopo do governo central. Além das ações centralizadas, o programa conta com a contribuição de organizações de supervisão e controle dos níveis locais de governo, incluindo as províncias. O programa procura regulamentar rigorosamente as novas construções. Para ter controle dos resultados, é feita a medição e monitoração dos gastos de energia com aquecimento das edificações já existentes nas regiões mais frias do país. Programas de financiamento e incentivo para adaptação das edificações já existentes às novas normas de eficiência energética são apoiados pelo governo central. Materiais de construção energeticamente ineficientes tiveram importação e aplicação proibidas por lei (KONG et al., 2011).

Os códigos de regulamentação são desenvolvidos para cada zona bioclimática do país com subdivisões entre edificações públicas e residenciais e ainda entre três diferentes estágios: projeto, construção e avaliação. A estratégia de implementação do programa se baseia em reconhecer e satisfazer três níveis de necessidade: o nível de necessidade do Estado, o nível de necessidades locais e o nível de necessidades do uso final da edificação. Para além da formulação de leis, o monitoramento é parte fundamental do programa. A medição e verificação *in loco* de edificações é feita anualmente gerando dados estatísticos. Este método vem sendo gradualmente substituído pelo monitoramento dinâmico através de medidores individuais, revelando os sucessos e falhas do programa. Este monitoramento é feito com fundos de reserva do Ministério de Finanças e Ministério do Desenvolvimento de Habitação Rural-Urbana. O fundo de reserva tem também a função de financiar o *retrofit* de edificações, com 50% de desconto de juros para projetos locais e até 100% para projetos de edificações do governo central (KONG et al., 2011).

O programa de eficiência energética em edificações na China espera contribuir com 40% do total de economia de energia previsto para o país até 2020 e estava listado entre os dez programas chave para eficiência energética no plano quinquenal de 2006-2010. Estes códigos contemplam de forma diferente quatro das cinco regiões bioclimáticas no território nacional. São elas a Região Fria, Extremamente Fria, Verão Quente-Inverno Frio, Verão Quente-Inverno Temperado. Para cidades na região Temperada, notavelmente a menor em

extensão, vale o código da região vizinha mais próxima ou demonstração de eficiência por método prescritivo (HONG, 2009).

O código é obrigatório e desde 2005 o governo central criou um programa de fiscalização que passou a retirar as licenças e certificados de construtoras e escritórios de projeto que o desobedecessem. Além das provisões obrigatórias, o código prevê recomendações de temperaturas apropriadas para cada tipo de edificação pública, de acordo com suas funções, assim como volume apropriado de trocas de ar por ventilação natural, velocidade do ar e umidade.

4.3. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações na União Europeia

4.3.1. Mecanismos existentes

Na União Europeia, o uso de energia em edificações responde pelo consumo de cerca de 40% de toda a energia consumida, incluindo todas as fontes. Vigora desde 2002 a *Energy Performance on Buildings Directive* (EPBD), que estabelece que políticas de eficiência energética em edificações devam ser implementadas por todos os Estados membros. As políticas elaboradas por cada Estado membro devem obedecer a algumas diretrizes gerais, como: um método de cálculo de desempenho energético comum; requisitos mínimos de desempenho energético; aplicação de certificações obrigatórias. Cada Estado membro possui certa liberdade de manobra para aplicar estas diretrizes. Em edificações novas, é obrigatório que o selo de certificação seja mostrado nos anúncios de venda. Em edificações públicas, o selo de certificação deve estar visível para a população (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2010).

A Diretriz EPBD prevê que todos os Estados membros deverão aplicar penalidades em resposta ao não cumprimento das medidas de eficiência energética. As penalidades deverão ser estabelecidas em lei e efetivamente fiscalizadas. Na União Europeia, o incentivo à eficiência energética em edificações caminha junto ao incentivo a fontes de energia renováveis, como eólica e solar, e à redução da emissão de dióxido de carbono (ENERGY TRAINING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 2012).

A primeira geração de normas EPBD deverá ser modificada por uma segunda geração, mais restritiva. Em setembro de 2012, o Parlamento Europeu propôs emendas à Diretiva 2010/31/EU da União que dispõe sobre as medidas de eficiência energética a serem tomadas por todos os Estados membros. Segundo as ementas propostas, o consumo de energia primária da União Europeia deverá ser de no máximo o equivalente 1.474 milhões de toneladas de petróleo em 2020 e a partir de 30 de junho de 2014 a Comissão avaliará os progressos feitos pelos países membros. Na proposta, os Estados membros ficam responsáveis por readequar ao menos 3% da área construída utilizada para uso do governo, a cada ano, de acordo com os requisitos mínimos já estabelecidos (EUROPEAN PARLIAMENT, 2012).

As normas atuais permitem diversas possíveis metodologias de avaliação de desempenho, dificultando a normatização entre todos os países da comunidade. Discute-se na União

Europeia, a harmonização dos códigos de normatização utilizados por todos os Estados membros, que ainda possuem códigos individuais. Posteriormente, a nível global, pretende-se transformar as normas europeias CEN em ISO (CENSE, 2010).

4.3.2. Reforma de edificações

Um dos passos necessários para o andamento do programa de eficiência energética em edificações é a reforma de edificações existentes. Mesmo em 2050 elas ainda serão a maioria na União Européia, em comparação com o número de novas edificações que serão construídas a partir de 2012. Em um estudo feito para identificar os principais obstáculos para a reforma de edificações existentes na União Europeia, foram identificados os problemas principais. Um destes problemas é o preço da energia, que é mantido artificialmente baixo pelos governos dos Estados membros, desestimulando investimentos em eficiência energética. Outro problema apontado é a falta de conhecimento dos tomadores de decisão a respeito do assunto, que não consideram a questão energética, ou não veem os benefícios que produtos com maior qualidade podem trazer ao longo do tempo. O alto preço inicial de produtos com melhor qualidade desestimula as suas demandas, mesmo que a diferença seja paga ao longo do tempo pelo melhor desempenho. É citada também a falta de incentivos financeiros para reformas de edificações, o que é decorrente da falta de confiança dos bancos em emprestar capital para este tipo de investimento. Apesar de ser um ponto crucial para o consumo de energia, a reforma de edificações ainda não foi alvo de elaboração de um *roadmap* por parte da Comunidade Europeia (KADERJÁK et al., 2012).

A meta da Comissão Europeia, segundo planos energéticos publicados (*roadmaps*), é reduzir o uso de energia de 39% a 48% no setor de edificações até 2050. Para atingir esta meta foram estudados vários cenários, em que apenas a medida de reforma de edificações existentes foi considerada para atingir a meta. Foram desconsideradas, portanto, outras medidas de redução de uso de energia em edificações, como geração local de energia renovável e substituição de edificações antigas por novas. Assumindo isto, duas variáveis passam a interferir na redução de uso de energia: a quantidade de reformas realizadas e a profundidade destas reformas em termos de economia de energia (BUILDINGS PERFORMANCE INSTITUTE EUROPE, 2011).

Na Europa, a taxa de reforma anual de edificações é de cerca de 1%, segundo a pesquisa, e estas reformas possibilitam cerca de 9% de redução no uso de energia. Para se alcançar a meta estabelecida pela Comissão Europeia, tanto as taxas de reformas, quanto a taxa de profundidade das reformas teriam que duplicar ou triplicar, segundo conclusão do estudo. Apesar do estudo sobre estes dois fatores, taxa de reformas e taxa de profundidade das reformas, poucos países membros da União Europeia estabelecem valores a serem alcançados em seus planos de eficiência energética. A França é um exemplo de país que adota como meta uma taxa de reforma e uma taxa de profundidade de reformas a serem alcançadas. O estudo conclui que, para atingir as metas de redução de consumo de energia em edificações, é necessário não somente aumentar a taxa de reforma de edificações, mas também aumentar os ganhos que estas reformas proporcionam. Isto deve ser feito com o desenvolvimento de novas tecnologias, que devem surgir ao longo dos próximos anos (BUILDINGS PERFORMANCE INSTITUTE EUROPE, 2011).

4.4. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações no Reino Unido

4.4.1. Situação do setor energético e de edificações

No Reino Unido, o consumo de energia final foi equivalente a 218 milhões de toneladas de petróleo no ano de 2010 (ENERGY TRAINING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 2012). De acordo com revisão da Agência Internacional de Energia (2012), o consumo de energia para uso residencial responde por 32% de seu consumo total de energia, o que o coloca em primeiro lugar, a frente do consumo industrial e de transporte. O setor de edificações responde por cerca de 50% do consumo total de energia. Regulamentações específicas para edificações foram implementadas em 2010, prevendo que a partir de 2016 todas as novas edificações terão emissão de carbono zero. Com campanhas voltadas para o consumo de energia em edificações e outras abrangendo o transporte, indústria e o mercado produtor de energia, o governo do Reino Unido espera reduzir em 9% o consumo de energia de 2007 a 2016, além de cortar emissões de carbono em 80% até 2050.

O gasto com energia nas residências no Reino Unido ocorre em boa parte devido ao aquecimento interno, que corresponde a 62% da energia gasta. Nas edificações de serviços, este gasto corresponde a 43% do total. De abril de 2007 a abril de 2011, através de programas governamentais e de regulamentações já impostas às edificações, o número de casas com isolamento térmico nas paredes externas subiu 27%. O número de casas com isolamento nas coberturas de até 125 mm de isolante (material não informado pela fonte) também cresceu 39% neste período. Os edifícios no país normalmente têm paredes duplas, com uma camada de ar entre a alvenaria que funciona como um isolante térmico natural. A tecnologia mais disseminada no mercado para fazer o isolamento térmico da envoltória é preenchendo os vazios entre as paredes externas, com lã de vidro, lã de rocha ou materiais expansíveis como poliuretano. Nas coberturas, houve incentivos e expansão do mercado de produtos de aplicação simples que pode ser feita pelo próprio usuário, tipicamente mantas de lã de vidro ou de rocha. O governo cobre uma boa parte do custo para o proprietário do edifício com os programas de financiamento (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2012).

4.4.2. Financiamento

No outono de 2012 ocorreu o lançamento do programa *Green Deal*, uma ferramenta de financiamento. Este é o principal programa de incentivo à eficiência energética em edificações. O financiamento dá incentivo para que empresas de eficiência energética ofereçam serviços às residências já existentes sem custo inicial, com o pagamento parcelado nas contas de energia posteriormente. A regra estabelecida para o financiamento é que os ganhos com economia de energia devem pagar os custos das reformas.

O papel das Empresas de Serviço de Energia (ESCOs), é reforçado na política de eficiência energética do Reino Unido com o programa *Green Deal*. As ESCOs são agentes intermediários que agilizam as reformas em edificações existentes. Elas são responsáveis pela intermediação entre o consumidor e os fornecedores de financiamento e serviços de construção. O proprietário do edifício assina um contrato com uma ESCO acreditada pelo

governo, o que aumenta a confiança do proprietário no processo. A empresa assume os riscos associados ao empréstimo com o órgão financiador, os riscos técnicos, e a responsabilidade de redução do uso de energia. O contrato feito segue um modelo padrão para poupar custos e tempo. O proprietário paga pelo empréstimo em forma de abatimento nas contas de luz de forma parcelada, o que aumenta a confiança do órgão financiador de que a dívida será paga. As ESCOs seguem ainda um modelo de medição e verificação padronizado (*International Measurement & Verification Protocol*), que permite medir com confiança as reduções obtidas no consumo de energia (KADERJÁK et al., 2012).

Entre as críticas feitas ao *Green Deal*, está o fato de que o programa considera que o usuário final irá consumir menos do que paga pela reforma, porém não existe garantia de que o consumo de energia realmente será reduzido. Os consumidores poderiam sentir o barateamento de suas contas de energia devido às reformas, e então aumentar o consumo de energia com outros usos, que anteriormente não eram possíveis devido à limitação financeira. O governo espera impedir este fenômeno com novas taxas sobre a energia. Outra crítica se refere à garantia de vinte e cinco anos oferecida pelo programa para assegurar o período de retorno do investimento para o proprietário. A maioria dos produtos envolvidos no mercado da construção tem garantias de cinco a seis anos, o que significa que estes podem ter que ser trocados antes do prazo dado pelo governo, o que inviabilizaria o retorno de investimento (ENERGY TRAINING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 2012).

4.4.3. Método de avaliação

O método utilizado para avaliação do desempenho energético em edificações no Reino Unido é o *Standard Assessment Procedure* (SAP 2009) para edificações residenciais, e o *Simplified Building Energy Model* (SBEM) para edificações não residenciais. Estes métodos seriam os equivalentes ao RTQ-R e RTQ-C no Brasil. No que diz respeito ao SAP 2009, este é subdivido em partes que contemplam cada um dos países do Reino Unido. A fiscalização do cumprimento dos requisitos mínimos é um problema reconhecido pelas entidades governamentais, e também a medição do consumo real de energia. Outro problema é a inconsistência de interpretações dos códigos (ENERGY TRAINING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 2012).

4.4.4. Certificação

Certificados de Eficiência Energética já são obrigatórios para se vender, alugar ou construir edificações, exigindo níveis mínimos de eficiência energética. Neste documento, o edifício recebe uma nota de A a G e recomendações para melhoramentos, além de contatos de prestadoras de serviço de eficiência energética. O Departamento de Energia e Mudança Climática estima que 50% dos edifícios receberão certificação nível D. No caso de aluguéis, o inquilino poderá pedir a reforma da casa ou do apartamento ao proprietário, que será obrigado a realizá-la se o financiamento do *Green Deal* estiver disponível (ENERGY TRAINING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 2012).

4.4.5. Treinamento de pessoal

Para que a política alcance seus objetivos, um dos obstáculos a serem vencidos é o treinamento de pessoal. Foi constatado através de pesquisas, que o número de mão de obra especializada é insuficiente para que a legislação seja de fato cumprida por todos os setores envolvidos na construção civil. A necessidade de mão de obra especializada é mais urgente no canteiro de obras, isto é, profissionais técnicos como pedreiros, eletricistas, encanadores, pintores, azulejistas, entre outros. No Reino Unido estes são chamados *blue collar workers*. Existe também a necessidade de informação e treinamento de consultores, arquitetos e profissionais gerenciadores de modo geral, mas a Comissão Europeia considera que a qualificação dos operários é mais urgente. O setor da construção civil no Reino Unido conta com mais de 2 milhões de pessoas empregadas, o que é três vezes maior que a indústria automobilística e responde por cerca de 10% de seu Produto Interno Bruto. Desta quantidade de pessoas, 63% são operários (ENERGY TRAINING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 2012).

4.5. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações na Dinamarca

4.5.1. Legislação existente

Na Dinamarca existem requisitos mínimos de desempenho energético para edificações, que são obrigatórios. A energia consumida para aquecimento em uma edificação não pode ultrapassar o máximo estabelecido pela Equação 3, definida por norma (BUVIK, 2012).

$$E = 52{,}5 + 1650/A \qquad (3)$$

onde:

E é a energia consumida anualmente por metro quadrado (kWh/m².ano);

A é a área aquecida da edificação (m²).

A energia renovável produzida no local, como solar ou eólica, é descontada do consumo para o cálculo. A legislação define ainda as edificações com baixo consumo energético e com consumo energético muito baixo, que devem consumir o máximo de energia estabelecido pelas Equaçõs 4 e 5, respectivamente.

$$E = 30 + 1000/A \qquad (4)$$

$$E = 20 \qquad (5)$$

onde:

E é a energia consumida por metro quadrado por ano (kWh/m².ano);

A é a área aquecida da edificação (m²).

A legislação está em progressiva transformação. A Equação 3, estabelecida por norma em 2010, permite um consumo 25% menor que o permitido em 2005. Em 2015 as edificações de baixo consumo energético, que são voluntárias no momento, serão obrigatórias (BUVIK, 2012).

4.5.2. Etiquetagem

A etiquetagem de edificações na Dinamarca é uma implementação nacional da diretriz EPBD. É obrigatória para venda, compra ou aluguel da edificação. A etiqueta de nível A é conferida às edificações de baixo consumo energético. A etiqueta de nível B é conferida às edificações que atendem a norma. Através de um banco de dados central de edificações etiquetadas, verifica-se que atualmente 15% das edificações da Dinamarca são consideradas de baixo consumo energético. Um programa de etiquetagem para edificações residenciais passivas está em fase inicial no país, estimulando o consumo nulo de energia nestas edificações (BUVIK, 2012).

4.5.3. Financiamento

Na Dinamarca não são dados incentivos financeiros a nível federal para a construção de casas com baixo consumo energético. Alguns municípios oferecem incentivos por iniciativa própria. O preço da energia tem encarecido nos últimos anos, e desta forma o baixo consumo de energia se torna atrativo no longo prazo (BUVIK, 2012).

4.5.4. Comunicação

O governo financia um banco de dados público chamado “Conhecimento para conservação de energia em edificações” com recomendações sobre reforma de edificações e uso de energia (BUVIK, 2012).

4.5.5. Plano de ação

Além das progressivas restrições que são impostas pela legislação a cada cinco anos, discute-se no momento uma legislação com maior estímulo para geração local de energia, visando o cumprimento das metas da União Europeia para edificações com consumo zero de energia em 2020. Linhas de financiamento de edificações com baixo consumo energético seriam interessantes para cobrir os custos no curto prazo. O financiamento só é oferecido por alguns municípios atualmente. O banco de dados “Conhecimento para conservação de energia em edificações” deve aumentar seu escopo, incluindo recomendações para novas edificações (BUVIK, 2012).

Muitos dos componentes necessários para se construir edificações de baixo consumo estão tendo sua produção incentivada na Dinamarca. Até pouco tempo estes componentes eram importados da Alemanha ou Áustria. Pretende-se incrementar a produção destes componentes para o mercado local e posteriormente para exportação para países vizinhos e em escala global (BUVIK, 2012).

Estudos indicaram que a maior parte das iniciativas concluídas para edificações de baixo consumo energético foram projetos comerciais. A demonstração de exemplos no setor público ainda é tímida e devem ser dados estímulos para sua efetivação (BUVIK, 2012).

A medição do consumo energético após a construção e ocupação dos edifícios deve ser incentivada na Dinamarca, como forma de garantir os resultados almejados e divulgar vantagens para os consumidores com base em observação empírica. Sistemas inteligentes de medição (*Smart Grids*) são tendência para os próximos anos.

A educação de profissionais aptos a projetar edificações residenciais passivas foi iniciada pelo *Inteligent Energy Europe* na Dinamarca e tinha registro, em 2012, de quase 100 arquitetos e engenheiros qualificados para tais projetos. Este número é insuficiente para atender a demanda do país, e espera-se aumentar a formação destes profissionais, inclusive inserindo a questão da eficiência energética na base dos cursos profissionalizantes.

Quanto a comunicação das vantagens de se investir em edificações eficientes energeticamente, espera-se que sejam melhor divulgados os retornos obtidos a longo prazo, bem como os benefícios relativos a qualidade do ar e conforto humano.

A Dinamarca pretende ser livre de emissões de dióxido de carbono do ano 2050 em diante, e esta meta demandará um grande esforço a ser feito em reformas de edificações existentes (BUVIK, 2012).

4.6. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações em Portugal

4.6.1. Etiquetagem

A etiquetagem obrigatória de edifícios em Portugal foi apontada pela Agência Internacional de Energia (2010) como um dos casos de sucesso na União Europeia. A etiquetagem foi implementada em três fases. As datas em que a legislação entrou em vigor estão representadas na Tabela 14. A comunicação do programa de etiquetagem à população é feita por agências de comunicação especializadas, contratadas para esta tarefa. A comunicação massiva na mídia é citada pela Agência de Energia de Portugal (ADENE) como um dos pilares que sustentam o programa de etiquetagem (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2010).

Tabela 14. Etapas de implementação da etiquetagem de edificações em Portugal.

Requisitos mínimos obrigatórios entraram em vigor	**Data**
Para todas as novas edificações.	Julho de 2006
Etiquetagem obrigatória para edificações entraram em vigor	**Data**
Fase 1: -Novas edificações residenciais/não residenciais (área ocupada > 1000m²)	Julho de 2007
Fase 2: -Todas as novas edificações independentemente da área ocupada	Julho de 2008
Fase 3: -Edificações existentes para venda ou aluguel -Expor os certificados em edifícios públicos com área ocupável maior que 1000 m² -Avaliação da viabilidade de sistemas alternativos de energia -Eficiência energética de boilers e sistemas de aquecimento	Janeiro de 2009

Fonte: Agência Internacional de Energia (2010).

4.6.2. Sistema de administração e banco de dados

Um banco de dados central de etiquetas foi desenvolvido e é mantido na internet, aberto a consulta para usuários, proprietários e para os profissionais avaliadores. Neste site é possível encontrar informações:

> a) Avaliação do edifício, validade da etiqueta e número de identificação do avaliador, recomendações para melhoramento das edificações
>
> b) Registro do número de etiquetas emitidas
>
> c) Registro dos profissionais avaliadores
>
> c) Informações sobre os procedimentos de qualidade
>
> e) Informações sobre o sistema financeiro e administrativo
>
> (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2010).

Este sistema possibilita o controle de qualidade do programa, através da auditoria dos profissionais avaliadores e auditoria das etiquetas emitidas (cerca de 4% das etiquetas emitidas são checadas para a garantia do controle de qualidade). O sistema possibilita também o acompanhamento do andamento do programa. É cobrada uma taxa para a emissão da etiqueta, que financia o sistema (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2010).

4.6.3. Treinamento de avaliadores

A primeira dificuldade encontrada foi o treinamento de profissionais suficientes para etiquetar edificações de forma a atender a demanda gerada pelo mercado a partir da implementação. A Agência de Energia de Portugal (ADENE) foi responsável pelo desenvolvimento de um curso de treinamento de avaliadores, que pode ser ministrado por universidades ou entidades privadas acreditadas. O treinamento dos avaliadores é rigoroso, para garantir a confiança no sistema de certificação. São necessários cinco anos de experiência para que o profissional possa trabalhar como avaliador, e estes devem se submeter a um teste de seleção nacional. A cada cinco anos o registro do avaliador deve ser renovado, sendo necessária uma avaliação de seu trabalho. Os avaliadores são qualificados para trabalharem em áreas específicas, ou seja, edificações residenciais e não residenciais de pequeno porte, ou edificações não-residenciais de grande porte. Se optar por edificações não-residenciais de grande porte, o avaliador ainda pode escolher entre as áreas de energia ou qualidade do ar interno. Os avaliadores são acreditados para etiquetarem edificações em locais específicos, não podendo etiquetarem edificações de regiões diferentes (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2010).

4.6.4. Metodologia de cálculo e softwares

A metodologia de cálculo de consumo de energia é definida separadamente para edificações residenciais e comerciais, por regulamentações específicas. A edificação é avaliada em fase de projeto, o que é necessário para se obter o alvará de construção, e novamente após concluída a obra, para obter a permissão de ocupação. Para edificações não residenciais com mais de 25kW de potência de sistemas de ar condicionado, o cálculo considera o sistema de ar condicionado, envoltória, orientação, ventilação, iluminação e sistemas de energia solar passivos. Um software desenvolvido pelo Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação é usado para este cálculo.

Para edificações comerciais de grande porte, devem ser utilizados softwares acreditados pelo código ASHRAE 140-2004, como por exemplo o DOE-2, ESP, Energyplus, TRACE 700 ou VisualDOE4.1. Um banco de dados climático é publicado para cada cidade de Portugal e deve ser usado para o cálculo (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2010).

4.6.5. Resultados e desafios

Em 2010 havia 1.330 avaliadores registrados em Portugal. Estimou-se que 2.000 profissionais seriam suficientes para suprir a demanda do mercado. Este sistema emite cerca de 18.000 etiquetas todos os meses, tendo acumulado até março de 2010, a emissão de cerca de 248.000 etiquetas (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2010).

Verificou-se que alguns pontos do programa poderiam ter sido melhor elaborados. Entre eles está o foco que é dado pelos métodos de avaliação em sistemas de aquecimento sanitários. A Agência de Energia de Portugal pensa em desviar este foco para a envoltória das edificações. Também deseja-se elaborar melhor as recomendações dadas para

melhorias dos edifícios etiquetados e criar ferramentas de pesquisa mais eficientes no software de banco de dados.

4.7. Regulamentação e incentivos à eficiência energética em edificações nos Estados Unidos

4.7.1. Requisitos mínimos

Nos Estados Unidos, o consumo energético final é equivalente a 2.446 milhões de toneladas de petróleo, anualmente, segundo indicado pelo balanço energético de 2011. Os setores residencial e comercial juntos respondem por 39,64% do consumo total de energia no país (incluindo todas as fontes), contra 30,59% do setor industrial e 27,08% do setor de transporte (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2012).

Em 1992, nos Estados Unidos foi aprovada a Lei de Política Energética pelo governo federal que obriga cada Estado a elaborar códigos de eficiência energética para edificações residenciais e comerciais. Os Estados devem:

> a) elaborar um código para edificações residenciais que atenda ou exceda os ganhos de energia promovidos pelo *International Energy Conservation Code*® (IECC 2012) elaborado pelo *International Code Council*;
>
> b) elaborar um código para edificações comerciais que atenda ou exceda os ganhos de energia promovidos pelo código *ANSI/ASHRAE/IESNA1 Standard 90.1-2010* elaborado pela Sociedade Americana de Engenheiros de Condicionamento de ar (ASHRAE) e outras entidades (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2012c, p.2, 2012c, tradução nossa).

O IECC trata de edificações comerciais e residenciais, enquanto a ASHRAE 90.1 trata apenas de edificações comerciais. O código do IECC para edificações comerciais é baseado na ASHRAE 90.1, o que significa que se um edifício comercial atende à ASHRAE 90.1, ele automaticamente atende ao IECC (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2010b).

4.7.2. Fiscalização

A fiscalização do cumprimento dos códigos nos Estados Unidos é responsabilidade do governo de cada Estado. O Departamento de Energia dá, portanto, liberdade para cada Estado implementar estes códigos como melhor convir, e dá algumas recomendações. O governo do Estado pode fiscalizar diretamente o cumprimento das normas. A fiscalização direta é mais viável em edifícios de propriedade do próprio governo, ou que sejam financiados por instituições governamentais. A responsabilidade de fiscalização pode também ser repassada a autoridades locais, o que pode levar a maiores diferenças de interpretações e diferenças no cumprimento do código pelo território do Estado. Se a responsabilidade de fiscalização for repassada a autoridades locais, o Departamento de Energia recomenda que agências do Estado apoiem ativamente as autoridades locais.

Existe também a opção de a fiscalização ser feita em conjunto entre o governo do Estado e as autoridades locais. Desta forma, o primeiro faz a revisão dos projetos do edifício e o segundo faz a inspeção da construção (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2010b).

De qualquer forma, a fiscalização exige recursos financeiros para que seja feita. O Departamento de Energia dá a liberdade para que, se poucos recursos puderem ser destinados ao programa energético, a fiscalização possa ser feita pelas mesmas autoridades responsáveis pelos projetos de incêndio e segurança. A fiscalização é feita em duas etapas: a etapa de projeto e a inspeção no local da construção.

4.7.3. Etiquetagem

Nos Estados Unidos, a etiquetagem do desempenho energético dos edifícios não é obrigatória a nível federal, mas alguns Estados ou autoridades locais exigem algum tipo de etiquetagem como requisito para se construir. Existem algumas etiquetas voluntárias que são incentivados pelo governo central ou pelos governos estatais como forma de ir além do desempenho mínimo exigido. Alguns dos principais entre estes programas são o *Energy Star*, o *Home Energy Rating System* (HERS) e o LEED. Existem ainda programas de incentivo à pesquisa, como o *Building America*, que é um programa de financiamento para a indústria, para o desenvolvimento de produtos energeticamente eficientes para construção (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2010b).

O *Energy Star* é um programa de etiquetagem voluntária do governo federal, que tem suas próprias regras para demonstração de cumprimento. Ele etiqueta não apenas edificações, mas diversos produtos eficientes, como eletrônicos, equipamentos de escritório e iluminação. Em geral, edificações com esta etiqueta são cerca de 15% mais eficientes que o mínimo estabelecido por regulamentos obrigatórios. Algumas autoridades locais exigem esta etiqueta como requisito para se construir. Existem programas de financiamento e abatimento de impostos para produtos com esta etiqueta, oferecidos por instituições públicas. O Energy Star é conduzido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, em conjunto com o Departamento de Energia. Além das etiquetas voluntárias, estes órgãos são responsáveis pela comunicação pública dos programas de eficiência energética, parte fundamental da estratégia de implementação.

Segundo a revisão anual do programa de 2011, mais de 80% das famílias americanas conhecem o significado do selo *Energy Star* e mais de três quartos das famílias que compraram produtos com este selo, afirmam que este foi um fator importante para decisão da compra, o que mostra a importância da divulgação do programa. Também é ressaltada a importância da parceria do programa com organizações de varejistas, construtores, indústrias, agências públicas, entidades emissoras de etiquetas, e outros. O programa poupou 277 bilhões de kWh apenas em 2011, incluindo todos os setores envolvidos, o que representa cerca de 5% de toda a energia elétrica consumida no país (AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS, 2011).

A União Europeia aderiu ao programa americano *Energy Star* em 2006 para a etiquetagem voluntária de equipamentos elétricos. Os produtores etiquetam voluntariamente seus

produtos, mas existe uma obrigação a todas as entidades públicas da União Europeia e dos Estados membros de comprar apenas equipamentos elétricos que atendam ou excedam os desempenhos energéticos definidos por esta etiqueta (KADERJÁK et al., 2012).

O LEED é um modelo de etiquetagem elaborado pelo *Green Building Council*, uma entidade privada, que é adotado ou incentivado por autoridades locais nos Estados Unidos. Esta certificação expandiu seu território de atuação para além dos Estados Unidos e está presente em muitos países em todo o mundo (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2010b).

4.7.4. Roadmap para edificações residenciais

O *Building America* é um programa de pesquisa em eficiência energética em edificações nos Estados Unidos, envolvendo alguns laboratórios especializados. Através de pesquisa e reuniões com representantes do mercado e do governo, o programa procurou identificar os principais problemas que devem ser solucionados para que o país atinja uma redução de 50% no consumo de energia em edificações residenciais, a longo prazo. O preço baixo da energia é uma das barreiras mais difíceis de ser superada, ele desestimula qualquer tipo de reforma visando eficiência energética (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2011b).

Conclui-se que existe no país uma tendência a realizar simulações por computadores para avaliar o consumo de edificações ineficientes e para prever a redução do consumo com as reformas. No entanto, não existe um banco de dados consistente das características de edificações existentes e suas respectivas contas de gastos energéticos, relacionados através de dados empíricos. Também não há um banco de dados consistente, baseado em pesquisa de casos reais, que quantifique a redução do consumo de energia após reformas de edificações. Pretende-se criar este banco de dados, através da medição do consumo de energia antes e após a reforma de edificações em diferentes zonas bioclimáticas, para que a redução de consumo real após as reformas, possa ser comparada com o consumo previsto por simulações computacionais. Quanto ao retorno do investimento financeiro de reformas, o limitado banco de dados de reformas feitas no passado sugere que o tempo é muito longo, de 25 a 50 anos, o que deve ser melhor estudado (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2011b).

O estudo aponta que o modelo adotado no país para reduzir o consumo energético, que consiste em selar as infiltrações de ar nas edificações, isolar termicamente os ambientes e controlar a temperatura artificialmente, irá afetar a saúde e segurança dos usuários e a durabilidade das edificações. Faz-se necessário o investimento no avanço de equipamentos de ventilação eficientes para edificações. Pretende-se investigar as vedações com alta resistência térmica em relação a suas resistências em relação a umidade, e consequências na saúde dos usuários (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2011b).

Pretende-se definir formas de comunicação e controle em conjunto com as entidades responsáveis, além de estabelecer parcerias com produtores de materiais, agências

governamentais e educadores (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2011b).

Atualmente o programa *Building America* já conta com um software que indica as intervenções que devem ser feitas em cada edificação residencial, de acordo com o clima em que está inserida, geometria e o melhor custo/benefício da reforma. As intervenções recomendadas foram testadas através da construção de algumas edificações piloto e medição empírica (DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS, 2011b).

Nos Estados Unidos são gastos aproximadamente 165 bilhões de dólares todos os anos em reformas em residências, mas apenas uma pequena porcentagem destas reformas é direcionada à eficiência energética. Para que o país reduza drasticamente o consumo de energia é fundamental o envolvimento de empreiteiras, da indústria da construção, de locadores e donos de imóveis e entidades governamentais (STATE & LOCAL ENERGY EFFICIENCY ACTION NETWORK, 2011).

4.8. Smart Grid

O sistema de medição de consumo de energia elétrica *Smart Grid*, que está sendo desenvolvido em diversos países é um importante instrumento para o controle dos resultados e tomada de decisões que se referem aos programas de eficiência energética para edificações. A tecnologia permite a leitura do consumo energético em tempo real e a leitura de micro-geração de energia no local, como por exemplo, a micro-geração de energia com painéis solares. Esta tecnologia deverá preencher uma grande lacuna, que é percebida quando se trata da implementação de programas de eficiência energética em edificações. Esta lacuna é a falta de um banco de dados de medições empíricas, quantificando o quanto de energia pode ser poupada com intervenções na arquitetura e nos equipamentos que consomem energia nas edificações.

No Reino Unido, uma das medidas do programa de eficiência energética em edificações residenciais, o *Green Deal*, prevê a distribuição de medidores inteligentes para consumidores e fornecedores de energia elétrica e de gás, capazes de medir o consumo de energia em tempo real. Estes medidores terão seus dados coletados por uma empresa independente dos fornecedores de energia, responsável pela coleta de dados e comunicação. Será feito grande investimento na divulgação do projeto e de seus resultados, alertando a população dos benefícios e das economias feitas pela redução do consumo de energia (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2012).

Para reduzir o uso de energia, o governo do Reino Unido pretende mudar o comportamento dos usuários. O governo espera equipar todos os lares do Reino Unido com um *Smart Meter*, que é um medidor individual de energia, até 2020. Desta forma, os usuários finais poderão acompanhar o consumo energético da edificação em tempo real. Além disto, estão previstas novas taxas sobre o uso de energia, tornando-a mais cara. A intenção é garantir que as medidas de eficiência energética financiadas pelo governo, como a reforma de edifícios, não impliquem no aumento do consumo de energia. Isto poderia acontecer se o dinheiro economizado na conta de energia fosse usado para consumir mais energia com outros usos (ENERGY TRAINING FOR THE BUIT ENVIRONMENT, 2012).

Medida semelhante foi divulgada recentemente nos Estados Unidos (DIEP, 2012). O sistema *Smart Grid* começou a ser testado em 24 de outubro de 2012, em aproximadamente 60 mil residências em Idaho, Montana, Oregon, Washington e Wyoming. O projeto chamado *Pacific Northwest Grid Demonstration* permite aos moradores monitorarem em tempo real a quantidade de energia gasta na residência. O governo dos Estados Unidos investe US$ 178 milhões nesta demonstração, que é financiada pelo *American Recovery and Reinvestment.* Os dados serão analisados, também em tempo real, em laboratórios por pesquisadores por cerca de dois anos, quando serão tiradas conclusões. De acordo com os resultados, o programa poderá ser expandido.

No Brasil, de acordo com notícia divulgada (TRIGUEIRO, 2012), o sistema *smart grid* está sendo testado no município de Aparecida, São Paulo. Os relógios de luz são substituídos por medidores nas casas e se comunicam por rádio com concentradores nos postes nas ruas. Estes concentradores enviam informações à concessionária por uma rede 3G de telefonia celular. Será possível medir dessa forma uma gama de dados em tempo real, tornando possível inclusive que a microgeração de cada residência seja descontada no faturamento do mês. Isto estimulará a eficiência energética, pois os próprios clientes saberão em tempo real o quanto estão consumindo.

A ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, regulamentou em agosto de 2012 os medidores eletrônicos para que seja implementada a *smart grid* no Brasil. São R$ 411 milhões investidos no desenvolvimento da tecnologia. As concessionárias têm um prazo de 18 meses para se adaptarem às regras, a partir da data da regulamentação. Com esta tecnologia não será possível a realização de ligações clandestinas, que respondem hoje por prejuízo da ordem de R$ 8 bilhões por ano para o setor, incluindo-se impostos (XIMENES, 2012).

A empresa americana *Building Energy* iniciou operações no Brasil recentemente. Esta empresa criou uma plataforma virtual em nuvem para que os proprietários de prédios, administradores e prestadoras de serviço integrem e compartilhem dados sobre projetos de eficiência energética em edificações. Pretende-se assim facilitar a tomada de decisões nas medidas de otimização de edificações, visando o uso racional de energia (ENERGIA HOJE, 2013).

5. Conclusões

O setor de edificações no Brasil consome cerca de 47% da energia elétrica gerada. Esta proporção é menor do que a verificada em outros países, devido ao clima tropical brasileiro que dispensa o uso de energia para aquecimento artificial em edificações. Ainda assim, existe desperdício de energia utilizada para resfriamento artificial de ambientes com pouco isolamento térmico. Este dado demonstra a oportunidade para o Brasil focar no controle sobre novas edificações. Em países como Estados Unidos, China e países membros da União Europeia, o setor edificado responde por uma parcela maior da energia gerada, e os programas públicos deve ser direcionados para a reforma de edificações.

No Brasil, existe um controle relativamente alto dos produtos de iluminação. Provavelmente, em breve deverá ser incentivado o uso de uma tecnologia mais eficiente que as disseminadas lâmpadas fluorescentes compactas. Neste cenário, a substituta mais promissora é a tecnologia LED, que já é produzida e comercializada. No entanto, as opiniões acerca de seu preparo para o mercado, como substitutas para as fluorescentes compactas, não são consensuais. Neste estudo, foram apresentados os resultados de medições em diferentes laboratórios acerca das propriedades de lâmpadas LED, fluorescentes e incandescentes, expondo em termos quantitativos as vantagens e desvantagens destas tecnologias. Para o uso de iluminação geral no interior de edificações, a tecnologia LED ainda não se mostra mais vantajosa que a fluorescente, pois a qualidade da luz emitida é inapropriada para tarefas visuais. A qualidade de iluminação inapropriada das lâmpadas LED foi atestada através da medição de outros parâmetros que não apenas a eficiência luminosa, como temperatura de cor e fidelidade de reprodução de cores. A análise do ciclo de vida e dos impactos ambientais envolvidos nos processos de fabricação, uso e descarte de diversas tecnologias de lâmpadas concluiu que as LED causam aproximadamente 20% menos impactos que as fluorescentes compactas e consomem a mesma quantidade de energia para fornecer uma mesma quantidade de luz.

A tecnologia OLED, por sua vez, será produzida no Brasil através de uma parceria firmada com a empresa Phillips. Por enquanto, a OLED está em fase de pesquisa, e é incipiente para produção e comercialização.

Quanto à avaliação da iluminação pelo RTQ-C (Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais), foram notados conflitos entre este regulamento e as práticas de mercado em projetos de iluminação. Para que o regulamento seja de fato utilizado, é necessário uma flexibilização com relação a alguns recursos utilizados frequentemente em projetos. Luminárias com aletas são comumente encontradas em projetos, e são mal avaliadas pelo RTQ-C. O mesmo ocorre com altas densidades de potência de iluminação instaladas em ambientes multifuncionais, mesmo que esta alta densidade vise ao atendimento de diversas tarefas e não sejam utilizadas ao mesmo tempo.

Nota-se a necessidade de um programa de etiquetagem dos componentes da envoltória no Brasil. A envoltória das edificações pode ser feita de inúmeros materiais e sistemas construtivos, cada um com propriedades físicas específicas. Por isto, é necessário um programa de etiquetagem dos sistemas construtivos disponíveis e um banco de dados centralizado com estas informações. Para isto, laboratórios de medição especializados

devem medir e etiquetar as propriedades físicas de janelas, isolantes térmicos e coberturas, separadamente. Nos Estados Unidos, como apresentado neste estudo, existe um sistema de etiquetagem de componentes eficientes que poderá ser um modelo a ser seguido. Assim, será possível para construtores e consumidores escolher os materiais que melhor atendam às necessidades específicas de projeto para cada zona bioclimática. Esta etiquetagem deve ser acompanhada de comunicação à população, sendo que estes são dois pilares do programa de eficiência energética em edificações em todos os casos analisados.

Foi verificado que os métodos de avaliação do desempenho térmico da envoltória, que são elaborados por organizações normalizadoras próprias de cada país, priorizam em geral a capacidade de isolamento térmico da envoltória e o seu fechamento hermético. Este viés incentiva o uso do condicionamento artificial da temperatura do ar, o que causa problemas de insalubridade do ambiente interno, já que o ar não é propriamente trocado com o meio externo. No Brasil, o procedimento de avaliação da envoltória prioriza a ventilação natural do ambiente interno, através das trocas ocorridas pela área de abertura, evitando o problema de insalubridade do ambiente interno. Nos Estados Unidos, reconhece-se as falhas daquele modelo de avaliação, e pretende-se solucionar o problema de insalubridade através do desenvolvimento de sistemas de ventilação e trocas de ar forçados, controlados por automação e sistemas digitais. O sistema de ventilação forçada, em conjunto com condicionamento artificial é aparentemente mais aceito pelo mercado, apesar de significar um maior consumo de energia em comparação com a ventilação natural.

A etiquetagem de componentes como aberturas, coberturas e vedações com propriedades físicas que contribuam para o desempenho energético da edificação é necessária para comunicar aos construtores, projetistas e usuários quais produtos atendem melhor suas necessidades em termos de conforto e desempenho energético. Exemplos disto são as entidades normalizadoras americanas, como o *National Fenestration Rating Council*, que é responsável pela etiquetagem de janelas e aberturas em geral, e o *Cool Roof Rating Council*, que é responsável pela etiquetagem de telhas, telhados e coberturas frias. Estas entidades são organizações privadas sem fins lucrativos que elaboram métodos de medição e avaliação das propriedades físicas dos materiais e executam testes de laboratório para a emissão das etiquetas. Elas são acreditadas pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos como organizações que prestam serviço terceirizado para a implementação do programa de etiquetagem *Energy Star*, que emite etiquetas para eletrodomésticos e edificações. Desta forma, as organizações terceirizadas são responsáveis pela medição em laboratório das propriedades físicas dos materiais e emitem etiquetas com a informação quantitativa destas propriedades. O programa *Energy Star*, por sua vez estabelece os níveis de desempenho mínimos aceitáveis para cada propriedade física. Por exemplo, para a propriedade física transmitância térmica, o NFRC mede em laboratório esta propriedade nos produtos e emite uma etiqueta com o resultado quantitativo, porém não indica se este valor é bom ou ruim, apenas o valor medido. Para que o produto receba também a etiqueta do *Energy Star*, que é concedida apenas a produtos eficientes, ele precisa ter um desempenho aceitável em relação a esta propriedade, que neste caso é um valor máximo de transmitância térmica.

Neste estudo, verificou-se que na União Europeia as atenções se direcionam neste momento para a reforma de todo o setor edificado, que só será possível de ser realizada

mediante o financiamento de pequenas obras, que é muito complicado devido ao risco envolvido. Não obstante, no Reino Unido espera-se superar este problema com um grande programa de reforma a nível nacional, em que os contratos entre os bancos e as empresas prestadoras de serviço são padronizados, bem como vários dos procedimentos para a reforma das edificações. Esta padronização de contratos e procedimentos aumenta muito a confiabilidade e agilidade dos processos, e poderia ser feita no Brasil. Outro foco de discussão da União Europeia é a falta de parâmetros iguais para todos os países membros, pois apesar de existirem diretrizes gerais a serem cumpridas, a aplicação destas é bastante heterogênea. Existem diferentes unidades de medida, diferentes formas de etiquetagem e diferentes controles de qualidade nos países membros. Este problema não é notado no Brasil, por ser uma só federação e ter sistemas de medidas unificado.

A etiquetagem de edificações é obrigatória em toda a União Europeia para compra, venda ou aluguel, e deve ser exposta em todos os edifícios públicos. Esta medida poderia ser adotada no Brasil para que o consumidor tenha a capacidade de discernir e escolher entre produtos de boa e má qualidade. A obrigatoriedade também viabiliza empresas prestadoras de serviço de eficiência energética, que atualmente não têm demanda suficiente para se sustentar.

Nos Estados Unidos, a etiquetagem voluntária *Energy Star* está sendo bem sucedida na redução do consumo de energia, segundo pesquisas feitas pela Agência de Proteção Ambiental. O sucesso do programa é devido principalmente à comunicação extensiva dos benefícios e formas de adesão à população.

Na China, nota-se uma articulação eficaz entre o governo do país, os governos dos estados e dos municípios para intervir no setor edificado, tanto de novas construções, quanto na reforma de edificações existentes. Este controle é feito de forma bastante rígida, com a proibição de certos materiais de construção ineficientes, e anulação das licenças de construção de empreiteiras que desrespeitem os parâmetros de desempenho definidos por lei. O modelo chinês é bastante austero e depende de uma fiscalização eficiente. Para o caso brasileiro, seria mais apropriado uma estratégia semelhante à norte americana, baseada na geração de demanda para o mercado.

Em todas os casos analisados, investe-se em pesquisa de *Smart Grids*, que serão de grande importância para a medição e controle do consumo de energia em edificações. Estas pesquisas também existem em território nacional e pretende-se aplicá-las no mercado em breve. Em todos os casos analisados existem requisitos mínimos de desempenho energético obrigatórios. Além disto, todos apresentam programas de etiquetagem de edificações, obrigatórios ou voluntários, comunicação reforçada à população, programas de financiamento e grandes esforços para a fiscalização do cumprimento destas diretrizes.

O Brasil passou a exigir, em 2013, requisitos mínimos de desempenho energético para edificações residenciais. A NBR 15575 (Edificações Habitacionais – Desempenho) estabelece requisitos para edificações residenciais, abrangendo além do desempenho energético, a qualidade do ar, acústica e estrutural. Se faz necessário o estabelecimento de requisitos de desempenho mínimos também para edifícios comerciais e públicos. Existe o programa de certificação voluntário (a etiqueta PROCEL Edifica, cujo procedimento de avaliação obedece aos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência

Energética de Edifícios), mas nota-se que é fundamental que haja maior divulgação de seus benefícios para a população, para que haja demanda pela etiqueta no mercado.

Com o embasamento proporcionado pela análise das possibilidades verificadas em outros países, foram feitas recomendações com o objetivo de reduzir o consumo de energia em edificações no Brasil. Acredita-se que sejam todas viáveis, e que sua implementação em território nacional contribuirá com o desenvolvimento sustentável do país.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS. **Energy Star and Other Climate Protection Partneships 2011 Annual Report**. 2011. Disponível em:<http://www.energystar.gov/ia/partners/publications/pubdocs/2011_AnnualReport_Final_low-res_12-13-12.pdf?4680-4450 >. Acesso em 04 jan. 2013.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Light's Labour's Lost. Policies for Energy-efficient Lighting.** France, 2006. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/light2006.pdf>. Acesso em 26 fev. 2013.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Energy Performance Certification of Buildings.** France, 2010. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/buildings_certification.pdf >. Acesso em 08 jan. 2013.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Energy Polices of IEA Countries – The United Kingdom.** France, 2012.

AMERICAN COUNCIL FOR AN ENERGY-EFFICIENT ECONOMY. **International Energy Efficiency Scorecard.** Washington, 2012. Disponível em: <http://www.aceee.org/portal/national-policy/international-scorecard>. Acesso em 22 set. 2012.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 90.1 – 2010. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.** Estados Unidos, 2010. Disponível em: <https://www.ashrae.org/standards-research--technology/standards--guidelines>. Acesso em 16 jun. 2013.

ANTHONY, S. New plastic light bulbs are cheap, bright, shatterproof, and flicker-free. **ExtremeTech**. Dezembro, 2012. Disponível em: <http://www.extremetech.com/extreme/142086-new-plastic-light-bulbs-are-cheap-bright-shatterproof-and-flicker-free>. Acesso em 01 mar. 2013.

ASSOSSIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. 2005.

ASSOSSIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **1º Projeto 03:034.04-100**. Projeto que visa cancelar e substituir a NBR 5413:1992 e NBR 5382:1985, previsto para ser idêntico à ISO 8995-1:2002. 2012.

ASSOSSIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. Esta parte da ABNT NBR 15575 estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, como um todo integrado, bem como a serem avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos. 2013.

BAY, A.; ANDRÉ, N.; SARRAZIN, M.; BELAROUCI, A.; AIMEZ, V.; FRANCIS, L.; VIGNERON, J. Optimal overlayer inspired by *Photuris* firefly improves light-extraction efficiency of existing light-emitting diodes. **Optics Express**, v. 21, n. S1, p. A179-A189, 2013.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de Dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União - Seção 1 - Edição Extra - 23/12/2010, Página 1. Brasília, 2010b. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2010/decreto-7404-23-dezembro-2010-609830-publicacaooriginal-131134-pe.html>. Acesso em 25 mar. 2013.

BRASIL. Decreto nº 7.746, de 5 de junho de 2012. Regulamenta o art. 3º da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, para estabelecer critérios, práticas e diretrizes para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável nas contratações realizadas pela administração pública federal, e institui a Comissão Interministerial de Sustentabilidade na Administração Pública - CISAP. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 05 jun. 2012.

BRASIL. Portaria Interministerial nº 1.007, de 31 de dezembro de 2010. Dispõe sobre a produção e importação para fins de comercialização de lâmpadas incandescentes. Brasília, 2010a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/conselhos_comite/cgiee/Portaria_Interministerial_nx_1007_2010.pdf>. Acesso em 05 out. 2012.

BRENDOLAN, R. **Projeto de iluminação artificial e eficiência energética: entraves e potencialidades para aplicação do RTQ-C.** Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2012.

BUILDINGS PERFORMANCE INSTITUTE EUROPE. **Europe's Buildings under the microscope. A country-by-country review of the performance of buildings.** Outubro, 2011. Disponível em: <http://www.europeanclimate.org/documents/LR_%20CbC_study.pdf>. Acesso em 05 fev. 2013.

BUVIK, K. **National Roadmaps for promotion of very low-energy house concepts.** NorthPass – Promotion of the Very Low-Energy House Concept to the North European Building Market. Inteligent Energy Europe. 2012 Disponível em: <http://northpass.ivl.se/download/18.750e3680136adb9f80580008634/NorthPass_D18-National-roadmaps_Public.pdf >. Acesso em 29/04/2013.

CENSE. **Set of recommendations: Towards a second generation of CEN standards related to the energy performance of Buildings Directive (EPBD)**. Intelligent Energy Europe, 2010. Disponível em: <http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/CENSE_WP6%201_N05rev02_Recommendations_CEN_standards_EPBD_2010.05.27_public_0.pdf>. Acesso em 22 out. 2012.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ENERGÉTICOS. **Oficina "Edificações Eficientes"**. In: DESENVOLVIMENTO DE AGENDAS TECNOLÓGICAS EM TEMAS SELECIONADOS. Relato... Brasília, 2012.

CERTI. Santa Catarina poderá sediar fábrica de OLED da Philips. **Comunicação CERTI.** 25 mar. 2011. Disponível em: <http://www.certi.org.br/noticias/santa-catarina-podera-sediar-fabrica-de-oled-da-philips.html>. Acesso em 08 abr. 2013.

CHEN, Y., SMITH, G. M., LOUGHMANB, E., LIA, Y., NIEA, W., CARROLLA, D. L. Effect of multi-walled carbon nanotubes on electron injection and charge generation in AC field-induced polymer electroluminescence. **Organic Electronics**. v. 14, n. 1, p. 8–18, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566119912004831>. Acesso em 04 dez. 2012.

CHEN, C.; DOU, L.; ZHU, R.; CHUNG, C.; SONG, T.; ZHENG, Y.; HAWKS, S.; LI, G.; WEISS, P.; YANG, Y.. Visibly Transparent Polymer Solar Cells Produced by Solution Processing. **American Chemical Society,** v.6, n.8, p. 7185-7190, 2012. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/nn3029327>. Acesso em 21 jan. 2013.

CHILDS, K.; STOVALL, T. **Potential energy savings due to phase change material in a building wall assembly: an examination of two climates**. Oak Ridge National Laboratory, 2012. Disponível em: <http://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub34268.pdf>. Acesso em 26 jul. 2013.

CHINA TO PHASE OUT INCANDESCENT LAMPS. **CHINADAILY.** 04 nov. 2011. Disponível em: <http://www.chinadaily.com.cn/china/2011-11/04/content_14039321.htm>. Acesso em 26 mar. 2013.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. **Energy Efficiency on White LEDs**. 2009. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/energy_efficiency_white_leds.pdf >. Acesso em 09 out. 2012.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. **Guidelines for Selecting Cool Roofs**. 2010a. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/corporate/coolroofguide.pdf>. Acesso em 18 jan. 2013.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. **Building Energy Codes 101**. Fevereiro, 2010b. Disponível em: <https://www.ashrae.org/File%20Library/docLib/Public/20100301_std901_codes_101.pdf >. Acesso em 01 fev. 2013.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. **DRAFT Cool Roofs Roadmap**. Novembro, 2010c. Disponível em: <http://www.eereblogs.energy.gov/buildingenvelope/file.axd?file=2010%2F11%2FDraft+Cool+Roofs+Roadmap.pdf>. Acesso em 21 jun. 2013.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. **DOE Building Envelopes Roadmap Workshop Meeting Notes**. Florida, 2010d. Disponível em: < http://sites.energetics.com/buildingenvelope/pdfs/BuildingEnvelopesRoadmapMeetingNotes.pdf>. Acesso em 27 jul. 2013.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. **Buildings Technologies Program**. Março, 2011a. Disponível em: <https://c.ymcdn.com/sites/nfrccommunity.site-ym.com/resource/resmgr/fact_sheets/buildingtechnologies_program.pdf>. Acesso em 15 jan. 2013.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. **Challenges and Opportunities To Achieve 50% Energy Savings in Homes: National Laboratory White Papers**. Building Technologies Program. Julho, 2011b. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/building_america/ba_tech_roadmap.pdf>. Acesso em 14 mai. 2013.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. **Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products.** Junho, 2012a. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/2012_led_lca-pt2.pdf>. Acesso em 03 dez. 2012.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. **Energy Savings Potential of Solid-State Lighting in General Illumination Applications.** Janeiro, 2012b. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_energy-savings-report_jan-2012.pdf>. Acesso em 03 dez. 2012.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. **Comparison of Standard 90.1-2010 and the 2012 IECC with Respect to Commercial Buildings.** Setembro, 2012c. Disponível em: <http://www.energycodes.gov/sites/default/files/documents/2012IECC_ASHRAE%2090%201-10ComparisonTable.pdf>. Acesso em 12 dez. 2012.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS ESTADOS UNIDOS. **External Insulation of Masonry Walls and Wood Framed Walls.** Janeiro, 2013. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/building_america/insulation_masonry_woodframed_walls.pdf%20>. Acesso em 25 jan. 2013.

DIEP, F. 'Smart Grid' Goes Live for the Pacific Northwest. **Tech News Daily.** 29 out. 2012. Disponível em: <http://www.technewsdaily.com/8404-smart-grid-goes-live-for-the-pacific-northwest.html>. Acesso em 01 nov. 2012.

ENERGY TRAINING FOR THE BUIT ENVIRONMENT. **United Kindom – Analysis of the National Status Quo**. Build up skills, 2012. Disponível em: <http://www.eaci-projects.eu/iee/fileshow.jsp?att_id=22503&place=pa&url=http://Status%20Quo%20UK.pdf&prid=2578>. Acesso em 29 jan. 2013.

ENERGIA HOJE. Eficiência energética gerenciada em nuvem chega ao Brasil. **Procel Info**. Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7BF5EAADD6%2DCCB0%2D4E29%2DA0C4%2D482D3D66BB65%7D&params=itemID=%7B8EFCB584%2D90D9%2D4650%2D95E5%2DD77592B3D6B9%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB%2D05D4%2D4644%2DA8F2%2DFAD4803C8898%7D>. Acesso em 31 jan. 2013.

EUROPEAN PARLIAMENT. **Amendments by the Parliament to the Comission proposal**. Directive 2012/.../EU of the European Parliament and of the Council on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. Europe, 2012.

FAHMY, S. UGA Researchers invent new material for warm white LED. **UGA Today**. Janeiro, 2013. Disponível em: <http://news.uga.edu/releases/article/new-material-warm-white-leds-011813/>. Acesso em 16 mar. 2013.

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n.8, p. 4107-4120, 2007.

GHISI, E.; TINKER, J.; IBRAHIM, S. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura *versus* simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n.4 , p. 81-93, 2005. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3659/2015>. Acesso em 26 jul. 2013.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **LEED 2009 for new Construction & Major Renovations with alternative compliance paths for projects outside the U.S.** 2009. Disponível em: <http://www.gbcbrasil.org.br/sistema/certificacao/RaitingSystemNC.pdf >. Acesso em 02 jan. 2012.

HELM , J. "Se é LED, é bom" / Pascal Chautard. **ArchDaily.** 07 Set. 2012. Disponível em: <http://www.archdaily.com.br/69510>. Acesso em 02 dez. 2012.

HONG, T. A. Close Look at the China Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings. **Energy and Buildings,** v. 41, n.4, p.426-435, 2009.

INTERNATIONAL WINDOW FILM ASSOCIATION. **Energy Analysis for Window Films Applications in New and Existing Homes and Offices.** Fevereiro, 2012. Disponível em: <http://www.iwfa.com/Portals/0/PDFDocs/IWFA%20Energy%20Study%20FINAL.pdf>. Acesso em 21 jan. 2013.

JANNUZZI, G. M. **Políticas Públicas para Eficiência Energética e Energia Renovável no Novo Contexto de Mercado**. 1. ed. Campinas: Editora Autores Associados, 2000. v. 1. 116p.

JANNUZZI, G.; MELO, C. A.; TRIPODI, A. F. **Políticas públicas para promoção da eficiência energética e microgeração renovável em edificações no Brasil: uma análise multicritério.** In: ENERGY DISCUSSION PAPER NO 2012/01. International Energy Initiative (Latin America). Julho, 2012. Disponível em: <http://www.iei-la.org/admin/uploads/edp20120189.pdf>. Acesso em 28 nov. 2012.

JOHN, V. M.; OLIVEIRA, D. P.; DE LIMA, J. A. R. **Levantamento do estado da arte: Seleção de materiais.** Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. Projeto Finep 2386/04, São Paulo, 2007.

KADERJÁK, P.; MEEUS, L.; AZEVEDO, I.; KOTEK, P.; PATÓ, Z.; SZABÓ, L.; GLACHANT, J.; FOUQUET, D.; VON DER FEHR, N. **Topic 7 - How to Refurbish all Buildings by 2050.** THINK. European University Institute, 2012. Disponível em: <http://www.eui.eu/Projects/THINK/Documents/Thinktopic/THINKTopic72012.pdf>**.** Acesso em 05 fev. 2013.

KONG, X.; LU, S.; WU, Y. A. Review of building energy efficiency in China during "Eleventh Five-year Plan" period. **Energy Policy,** v. 41, p. 624-635, 2012.

KOSNY, J.; SHUKLA, N.; FALLAHI, **A. Cost Analysis of Simple Phase Change Material-Enhanced Building Envelopes in Southern U.S. Climates**. Documento preparado para o *National Renewable Energy Laboratory*, como parte do programa *Building America*, do Departamento de Energia dos Estados Unidos. 2013. Disponível em: <http://cse.fraunhofer.org/Portals/55819/docs/ba_pcm_enhanced_building_envelopes.pdf>. Acesso em 26 nov. 2013.

LOURA, R. M.; ASSIS, E. S.; BASTOS, L. E. G. **Análise comparativa entre resultados de desempenho térmico de envoltórias de edifício residencial gerados por diferentes normas brasileiras.** In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Búzios, RJ, 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Eficiência Energética.** Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>. Acesso em 09 jun. 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional 2012: Ano base 2011.** Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2012.pdf>. Acesso em 09 jun. 2013.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).** Portaria Inmetro n.º 372, de 17 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>. Acesso em 23 jun. 2013.

NATIONAL FENESTRATION RATING COUNCIL. **Understanding Energy Performance Ratings for Dynamic Glazing Products.** Julho, 2006. Disponível em: <https://c.ymcdn.com/sites/nfrccommunity.site-ym.com/resource/resmgr/fact_sheets/dynamicglazing.pdf>. Acesso em 15 jan. 2013.

NEWSHAM, G.R; MANCINI, S.; BENJAMIN, J. B. LEED-certified buildings save energy? Yes, but... **Energy and Buildings.** v. 41, p. 897–905, 2009.

OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION. Commission Regulation (EC) No 244/2009 of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0003:0016:EN:pdf>. Acesso em 26 mar. 2013.

PROGRAMA AMBIENTAL DAS NAÇÕES UNIDAS. **Assessment of Opportunities for Global Harmonization of Minimum Energy Performance Standards And Test Standards for Lighting Products.** Collaborative Labelling and Appliance Standards Program, 2011. Disponível em: < http://www.enlighten-initiative.org/portal/Portals/26107/documents/Resources/062011_CLAS%20report.pdf>. Acesso em 26 set. 2012.

PROGRAMA AMBIENTAL DAS NAÇÕES UNIDAS. **Achieving the Global Transition to Efficient Lighting Toolkit.** 2012. Disponível em: <http://www.olela.net/enlighten-toolkit/Complete%20Toolkit.pdf>. Acesso em 03 out. 2012.

QIN, Y.; LIN, D.; HUI, S.Y. A Simple Method for Comparative Study on the Thermal Performance of LEDs and Fluorescent Lamps. **IEEE Transactions on Power Electronics,** v. 24, p.1811-1818, n. 7, 2009.

RYCKAERT, W.R.; SMET, K.A.G.; ROELANDTS, I.A.A.; VAN GILS, M.; HANSELAER, P. Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. **Energy and Buildings,** v. 49, p.429-436, 2012.

STATE & LOCAL ENERGY EFFICIENCY ACTION NETWORK**. Roadmap for the Home Energy Upgrade Market.** Residential Retrofit Working Group. June 2011. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/seeaction/pdfs/retrofit_energyupgradesroadmap.pdf>. Acesso em 17 mai. 2013.

SORGATO, M.J.; MARINOSKI, D.L.; MELO, A.P.; LAMBERTS, R. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública.** Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina. Setembro de 2012. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/NT_15575_FINAL.pdf >. Acesso em: 17 mar. 2013.

TAYLOR, D. NanoLight claims to be world's most efficient light bulb. **Gizmag.** Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.gizmag.com/nanolight-worlds-most-efficient-light-bulb/25674/>. Acesso em 28 jan. 2013.

TRIGUEIRO, A. Brasil começa a investir em redes inteligentes de energia elétrica. **Programa Cidades e Soluções, Globo News.** São Paulo, 01 nov. 2012. Disponível em: <http://g1.globo.com/globo-news/noticia/2012/11/brasil-comeca-investir-em-redes-inteligentes-de-energia-eletrica.html>. Acesso em 06 nov. 2012.

UNITED STATES OF AMERICA. **Energy independence security act of 2007**. Established mandatory minimum energy performance standards (MEPS) for general service incandescent lamps. 2007. Disponível em: <http://www.energy.senate.gov/public/index.cfm/energy-independence-security-act-of-2007>. Acesso em 26 mar. 2013.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Annual Energy Review 2011**. U.S. Department of Energy. Setembro, 2012. Disponível em: <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/aer.pdf >. Acesso em 12 dez. 2012.

WAKE FOREST UNIVERSITY. Goodbye, fluorescent light bulbs: New lighting technology won't flicker, shatter or burn out. **PHYS.ORG**. North Carolina, USA. Dezembro, 2012. Disponível em: <http://phys.org/news/2012-12-goodbye-fluorescent-bulbs-technology-wont.html>. Acesso em 04 dez. 2012.

WEINER, J. Innovation on the Cutting-Edge: Advancing Energy Efficiency Through Two New ARPA-E Projects at Berkeley Lab. **Lawrence Berkley National Laboratory.** Dezembro, 2012. Disponível em: <http://newscenter.lbl.gov/news-releases/2012/12/03/innovation-on-the-cutting-edge-advancing-energy-efficiency-through-two-new-arpa-e-projects-at-berkeley-lab/>. Acesso em 20 jan. 2013.

XIMENES. V. CE tem R$ 11,4 mi investidos em redes inteligentes. **Diário do Nordeste.** Ceará, 05 nov. 2012. Disponível em: <http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=1200133>. Acesso em 20 jan. 2013.