

Abordagem Integrada da Eficiência Energética e Energias Renováveis

Antonia Sônia Alves Cardoso Diniz (1), Eduardo Carvalhaes Nobre (1),
Patrícia Romeiro da Silva Jota (2), Anísio Rogério Braga (2) e Mirna Suely dos Santos Bracarence (2),
Eleonora S. Assis(3), Roberta V. G. Souza(3), Fábio G. Jota(3), Ricardo B. Pinheiro(3),
Elizabeth M. D. Pereira (4), Willi B. Gonçalves (4), Márcia A. Ribeiro (4), Samya D'Alencastro (4), Júlia M.
G. Rocha (4), Lauro V. Machado Neto(4), Márcio J. Silva (4), Roberto Schirm (4),
José Roberto Branco (5), V.M. Bispo (5), M. E. L Sabino (5), R. T. Proença (5), Clauson de Souza (5)

(1) Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG
asacd@cemig.com.br

Av. Barbacena 1200/20º/A2 – Belo Horizonte – M.G.

(2) Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET-MG

(3) Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

(4) Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC/M.G.

(5) Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC

1 – Introdução

Nos últimos anos, o interesse pela eficiência energética tem crescido consideravelmente no mundo devido a vários motivos, dentre eles, evitar a degradação das condições ambientais locais e regionais, reduzir as mudanças climáticas associadas ao efeito estufa, promover o desenvolvimento sustentável e criar uma cultura junto à sociedade de combate ao desperdício de energia elétrica.

Assim, torna-se necessária à busca de formas alternativas de se disponibilizar energia, que leve em conta tais preocupações, buscando o melhor uso da energia elétrica através da implementação e disseminação de técnicas e equipamentos voltados ao combate ao desperdício de energia elétrica. Esta busca visa à construção de uma “usina virtual”, através da disponibilização ao sistema, das economias de demanda obtidas nos programas de combate do desperdício de energia elétrica. Por exemplo, o atendimento de um consumidor residencial via energia economizada é cinco vezes menor que através do parque gerador convencional.

O projeto “Abordagem Integrada da Eficiência Energética” busca a efficientização energética no que tange aos processos, equipamentos e ações/métodos, englobando o planejamento sistêmico das edificações como base para a integração entre os projetos arquitetônicos e complementares. As atividades de pesquisa e extensão poderão servir à certificação de procedimentos técnicos e produtos.

A CEMIG construiu dois centros de demonstração e pesquisa aplicada em eficiência energética em parceria com a PUC-MG, CEFET-MG e UFMG, com o objetivo de criar uma rede de demonstração e pesquisa aplicada em eficiência energética no Estado de Minas Gerais. A opção pela implantação deste projeto, conjuntamente nos CPEI's, deveu-se a grande abrangência das áreas do conhecimento envolvidas e das vocações das Instituições de ensino partícipes, promovendo uma forte integração entre as metodologias de abordagem e análise dos sistemas através do trabalho conjunto entre os grupos de pesquisa. Sendo, os centros, locais destinados à pesquisa, envolvendo estudantes de graduação, pós-graduação e reciclagem profissional, eles são o sítio ideal para o desenvolvimento do projeto.

Nestes Centros, denominados CPEI's – Centros de Pesquisa em Energia Inteligente, estão sendo desenvolvidas atividades ligadas à pesquisa, ensino, extensão e ao ensino, contemplando cursos de treinamento e capacitação de estudantes universitários, de 2º grau e de profissionais, além do público em geral. Estes Centros contribuirão para a formação de opinião pública conscientizada para a questão energética, bem como de instrutores e agentes capacitados a orientar, em diversos setores, a respeito, de técnicas de combate ao desperdício de energia.

A partir da forte integração entre as pesquisas desenvolvidas pelas instituições e a CEMIG foram propostas diretrizes conjuntas para orientar projetos de edificações eficientes de forma sistêmica em todas as suas fases desde o projeto arquitetônico até o projeto e operação dos equipamentos eficientes e da própria edificação. Os principais objetivos do projeto Abordagem Integrada da Eficiência Energética e Energias Renováveis são buscar a efficientização energética no que tange aos processos, equipamentos e consumo, englobando o planejamento sistêmico das edificações como base para a integração entre os projetos arquitetônicos e utilidades. Segundo implantar linhas de pesquisas nos CDPAEE –Centros de Demonstração e Pesquisa Aplicada em Eficiência Energética, dentro das linhas de habitação eficiente, sistemas integrados de energia na concepção e uso de edificações de diferentes topologias, focando no monitoramento dos Centros de Desenvolvimento e Pesquisa Aplicada em Eficiência Energética. Terceiro, analisar o desempenho energético de equipamentos e sistemas para o combate ao desperdício de energia elétrica focando a eficiência energética dos

processos elétricos e térmicos, abrange automação predial e fontes alternativas de energia.

O projeto, também, inclui pesquisas correlatas como materiais e componentes construtivos eficientes energeticamente e a participação na Tarefa 28 do IEA – Edifícios Energeticamente Eficientes (Cooling and Heating) e a integração das energias renováveis nas edificações.

O objetivo deste artigo é descrever o desenvolvimento do projeto e os produtos já obtidos em seus cinco sub-projetos. Os sub-projetos foram nomeados da seguinte forma: sub-projeto 1 - Habitação Eficiente, sub-projeto 2 – Sistemas Integrados de Energia na Concepção e Uso de Edificações de Diferentes Topologias: monitoramento dos CPEI's, sub-projeto 3 – Eficiência Energética de Processos e Equipamentos Térmicos e Elétricos, sub-projeto 4 – Automação Predial e sub-projeto 5 – Vidros Óticos para Janelas Eficientes.

2 – Desenvolvimento do projeto Abordagem Integrada da Eficiência Energética e Energias Renováveis

2.1 – Sub-Projeto 1 - Habitação Eficiente

No sub-projeto 1, que trata da habitação sustentável, desenvolve-se em parceria com pesquisadores do Grupo de Estudos em Energia da PUC-MG uma proposta para o zoneamento bioclimático do estado de Minas Gerais. O zoneamento consiste basicamente na classificação de cada região do território considerado segundo um índice de conforto térmico, usando dados climáticos locais, de modo a gerar recomendações para a melhor adaptação das edificações ao clima, diminuindo sua dependência de energia para a climatização artificial dos ambientes. Também nesse sub-projeto desenvolve-se, para cada zona bioclimática encontrada, uma estimativa da disponibilidade de luz da abóbada celeste regional para dar base ao projeto de iluminação natural, propondo uma cartilha para orientar os profissionais de projeto sobre o melhor aproveitamento desse recurso natural e seus impactos na redução do consumo de energia de diversas tipologias de edifícios.

2.2 - Sub-Projeto 2 – Sistemas Integrados de Energia na Concepção e Uso de Edificações de Diferentes Topologias: monitoramento dos CPEI's

No sub-projeto 2, que trata dos sistemas integrados de energia na concepção e uso de edificações de diferentes tipologias, foram desenvolvidos procedimentos para a análise de desempenho termo-energético de edificações em situação de projeto (usando como caso o projeto arquitetônico do CPEI/UFMG, não construído) e de uso (usando como caso o edifício sede da CEMIG). Esses procedimentos utilizaram modelos computacionais avançados de simulação, tais como o POWER-DOE[®], o ENERGYPLUS[®] e o AUTODESK LIGHTSCAPE[®], produzindo um método para a geração de biblioteca climática a partir de climogramas, bem como avaliando o efeito integrado de desempenho térmico de envoltórias e da iluminação natural no conforto ambiental e na economia de energia das edificações. Atualmente, através do monitoramento do edifício do CPEI/CEFET-MG em trabalho conjunto com pesquisadores desta instituição, está sendo desenvolvido um procedimento que integra um sistema de monitoramento ambiental e o processo de simulação computacional do edifício, verificando a capacidade do modelo, no caso, o ENERGYPLUS[®], em reproduzir as condições medidas de comportamento termo-energético de curto prazo. Uma vez validado este procedimento pode servir de base ao desenvolvimento futuro de um método de certificação energética de edificações, uma vez que não pode haver diferenças significativas entre o resultado simulado (condição de projeto) e o resultado do monitoramento (situação pós-ocupação). Além disso, métodos expeditos para a análise do consumo energético desagregado estão sendo desenvolvidos, com base nas técnicas de avaliação pós-ocupação em arquitetura, tornando os trabalhos de diagnóstico de consumo energético dos edifícios menos dispendiosos e demorados. Esses resultados deverão trazer benefícios mais imediatos principalmente ao setor público, devido à necessidade de cumprimento de decretos governamentais, tanto em escala federal quanto estadual, que determinam a redução dos gastos energéticos de uma enorme variedade de edificações, tais como escolas, edifícios de escritórios, hospitais, etc.

A equipe do CEFET MG desenvolveu no sub-projeto 2, pesquisas utilizando a metodologia “*Projeto Experimental*” em estudos de iluminação natural, considerando-se entorno desobstruído. O estudo de caso analisou a distribuição de luz natural obtida por diversas combinações entre aberturas laterais e beirais dimensionados de acordo com as normas vigentes. O objetivo principal é mostrar as vantagens da utilização de uma metodologia estatística de gerenciamento experimental. Pretende-se também contribuir para o aperfeiçoamento das normas técnicas e validação de modelos matemáticos. Adotou-se uma metodologia de “Projeto experimental”, onde os fatores arquiteturais escolhidos foram estudados segundo o projeto fatorial de Três Níveis. Esta metodologia estatística possibilitou uma abordagem de avaliação mais objetiva, além de propiciar a validação dos resultados. O experimento completo foi organizado com todas as combinações possíveis entre janela e beiral. Os dados foram coletados sob condições de céu real utilizando-se um modelo físico em escala reduzida de um ambiente. O projeto fatorial analisa os efeitos próprios dos fatores e a existência de interação entre eles, evitando o falseamento das conclusões. A análise dos resultados possibilita o traçado de equações matemáticas que descrevem o processo em estudo. Através de interpolação dos dados são obtidos os

valores correspondentes às respostas de outras combinações entre os fatores, tornando o método bastante vantajoso.

Foi realizado, também, experimentos contemplando a análise do desempenho térmico de um edifício de salas para escritórios, situado em zona comercial na parte alta da cidade de Belo Horizonte. Através de combinações entre posição de janelas (leste/oeste), janelas com e sem filmes protetores e salas ventiladas e não ventiladas naturalmente, foi feita uma avaliação quantitativa, utilizando método estatístico “Fatorial de dois Níveis”. Os principais índices térmicos foram levantados, descritos e analisados. Foram definidas as variáveis envolvidas e detalhados todos os procedimentos utilizados para a coleta de dados. O objetivo deste trabalho é identificar, por método estatístico, a melhor combinação entre as variáveis escolhidas de forma a alcançar o conforto térmico do ambiente estudado a partir de técnicas de avaliação pós-ocupação.

Para o desenvolvimento de uma metodologia para proposição de um índice de desempenho energético (consumo específico) que auxiliasse no acompanhamento de uso de edificações climatizadas artificialmente. O consumo específico é calculado como sendo a razão entre o consumo mensal e alguma quantidade de produto produzido no período avaliado. Porém, para edificações climatizadas artificialmente, não existe, ainda, um índice que seja representativo. Este trabalho busca determinar um consumo específico que leve em consideração a variação de temperatura para melhor caracterizar a variação no consumo energético. Para realizar este estudo tomou-se como base edificações públicas que possuem ar condicionado e os dados de dois anos foram avaliados. Os resultados indicam a adequação do índice proposto. Edificações avaliadas: Edifício Júlio Soares (sede CEMIG), quatro edificações do Tribunal de Justiça de Minas Gerais (Juizado Especial Cível, Centro Operacional, Juizado da Infância e da Adolescência e Juizado da Infância e Juventude).

A avaliação qualitativa do edifício do Centro de Pesquisa em Energia Inteligente - CPEI do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG. O CPEI foi concebido dentro de alguns conceitos da arquitetura bioclimática, de modo a minimizar o consumo de energia operante no edifício e proporcionar conforto ambiental aos usuários. Deste modo, para obter o conforto térmico e luminoso atuou-se na concepção arquitetônica e na escolha dos materiais de construção, nas cores das superfícies internas e externas, na solução dos elementos construtivos e do sistema artificial inteligente. São discutidos os critérios adotados nas soluções de elementos construtivos e discute o seu desempenho. A construção do CPEI é o resultado de uma parceria entre a Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG e o CEFET-MG, visando o desenvolvimento tecnológico e a pesquisa na área de eficiência energética. Este trabalho trata dos dados contidos em uma listagem de materiais e itens de materiais classificados por código de material, nome do material código do item, e especificação completa do item - (características básicas, complementares e complemento da especificação do item).

O relatório foi disponibilizado em meio magnético para facilitar o tratamento dos dados. Os dados estão sendo analisados e nova especificação técnica está sendo elaborada substituindo equipamentos e materiais por sistemas eficientes. Para abordagem do uso de energia em edificações públicas no setor de Escolas em Minas Gerais, sob o enfoque da eficiência energética. É apresentada uma análise estatística de dados de consumo energético, com o objetivo de traçar um perfil do consumidor na categoria de Escolas Públicas e identificar o índice mais adequado para caracterizar o uso da energia nesse setor. Estima-se que as edificações públicas brasileiras consumam 80% de toda energia elétrica gasta no setor público. Assim, os prédios públicos apresentam consumos expressivos e grandes potenciais de economia de energia. Este trabalho aborda o uso de energia em escolas públicas estaduais de Minas Gerais, sob o enfoque da eficiência energética. É apresentada uma análise estatística de dados de consumo energético, com o objetivo de traçar um perfil do consumidor na categoria de Escolas Públicas e identificar o índice mais adequado para caracterizar o uso da energia nesse setor. Estima-se que as edificações públicas brasileiras consumam 80% de toda energia elétrica gasta no setor público. Assim, os prédios públicos apresentam consumos expressivos e grandes potenciais de economia de energia.

2.3 - Sub-Projeto 3 – Eficiência Energética de Processos e Equipamentos Térmicos e Elétricos

No sub-projeto 3, que trata da eficiência energética de processos e equipamentos térmicos e elétricos, tem sido dada ênfase ao setor residencial, muito pouco estudado, e sua matriz energética, onde há grande potencial para a economia de energia elétrica, com enfoque no uso de fontes renováveis para o aquecimento de água. De fato, uma pesquisa exploratória feita no âmbito deste Projeto após o racionamento ocorrido em 2001 em uma área residencial de Belo Horizonte, diversificada quanto ao aspecto sócio-econômico, mostrou uma tendência de mudança no perfil do consumo de energia nesse setor, passando o aquecimento de água a representar, em média, 46% da energia elétrica consumida nas residências. Assim, buscando soluções para a diversificação da matriz energética nesse setor, um dos trabalhos desenvolvidos estabeleceu uma metodologia para avaliar, dos pontos de vista técnico, sócio-econômico e ambiental, a viabilidade de implantação de sistemas distritais de aquecimento solar, elaborando um procedimento sistemático para a análise comparativa de sistemas de aquecimento distrital solar (de grande porte) com outros sistemas de aquecimento (gás natural, eletricidade e biomassa). Além disso, está em andamento um trabalho que estuda o potencial de inserção da bomba de calor como tecnologia de

aquecimento de água nos setores residencial, público e comercial no estado, comparando-a aos demais sistemas disponíveis para aquecimento de água no contexto de eficiência energética, viabilidade econômica e técnica, além de impactos ambientais e no sistema elétrico, e verificando as vantagens e desvantagens de cada um deles. Desenvolve-se, ainda, uma aplicação do programa ENPEP para gerar cenários de planejamento energético para o setor residencial do estado considerando o balanço entre a oferta e a demanda de energia no longo prazo (horizonte de 20 anos).

Para o consumidor final, está sendo disponibilizada uma base de dados *Eletrodomésticos Eficientes* e um programa de simulação para desagregação da conta de energia elétrica em função dos hábitos de consumo da família. Busca-se, assim, promover a redução consciente e efetiva do consumo de energia com repercussão sobre a demanda de energia requerida no horário de ponta. Para promover e garantir a sustentabilidade de programas de governo para aquecimento solar de água, com a criação de linhas efetivas de financiamento e de legislação apropriada, a equipe da PUC MG vem trabalhando com a implantação de novos ensaios de qualidade, segurança e medidas elétricas em reservatórios térmicos, além dos ensaios de acompanhamento da produção.

Constatou-se uma melhora significativa nos produtos oferecidos no mercado nacional inclusive com a criação de novos índices de desempenho térmico agora, mais restritivos. Para otimização das instalações de aquecimento solar, estuda-se a estratificação da água em função da temperatura do seu armazenamento, parâmetros de projeto e condições operacionais, como a vazão de consumo de água quente para atendimento de diferentes níveis de conforto.

Em relação ao desenvolvimento de softwares, destaca-se o modelamento matemático sobre *Aquecimento de Piscinas* que inclui a subrotina Radiação Solar que permite calcular a radiação solar incidente em planos e orientações arbitrárias, a subrotina *Aquecimento Solar* para determinação da área de coletores solares a ser especificada em função das perdas térmicas, temperatura da água em cada mês do ano e a economia de energia estimada. A subrotina Aquecimento Auxiliar inclui o modelamento matemático de bombas de calor e aquecedores a gás, além da subrotina Análise Econômica. Para validação do software, foi construída uma bancada didática com uma piscina pequena com 6m² de área, coletores solares e os aquecedores complementares citados.

Os programas em *Redes Neurais* desenvolvidos referem-se à avaliação de coletores solares planos, onde fatores decorrentes de eventuais limitações em processos de fabricação desses coletores, impossíveis de serem quantificados em modelos analíticos, podem ser identificados através do treinamento das redes. Outra rotina relevante trata da avaliação da sensibilidade dos resultados como eficiência térmica em função das grandezas medidas como radiação solar, velocidade do vento e temperatura da água à entrada do coletor. Este estudo validou as condições limitantes definidas pelas normas brasileira e americana de ensaios de coletores solares.

As pesquisas do CEFET MG incluem, ainda, a montagem de bancada para o ensaio e validação de acionamentos de motores elétricos de indução tipo padrão e alto rendimento com inversores de frequência e testes com lâmpadas fluorescentes para medição de harmônicos gerados por unidade e em grupos.

2.4 - Sub-Projeto 4 – Automação Predial

No sub-projeto 4, que trata da automação predial, está sendo desenvolvido um sistema distribuído baseado em microcontroladores de baixo custo para aplicação específica em automação predial e residencial. O sistema é composto de um conjunto de estações programáveis, fisicamente distribuídas, interligadas por uma rede serial compartilhada. Cada estação tem capacidade de executar funções ou procedimentos requeridos por qualquer outra estação da rede. Além disso, pode, de forma autônoma, monitorar e controlar uma ou mais unidades residenciais, seja apenas medindo ou mesmo exercendo ações na edificação. O *software* de programação dos microcontroladores de cada estação foi desenvolvido para conferir grande flexibilidade ao sistema distribuído, permitindo que, eventualmente, cada estação assuma o controle de uma ou mais unidades. O sistema de monitoramento foi desenvolvido em outro projeto, também com parceria da CEMIG, e está atualmente sendo empregado no monitoramento ambiental do CPEI/CEFET-MG. Como possibilidades de aplicação do sistema proposto, destacam-se: (a) segurança: permite o monitoramento on-line do edifício a partir de um computador portátil ou mesmo um aparelho celular; (b) conforto: o usuário poderá acionar remotamente quaisquer cargas do edifício ou pré-programar ações, tais como controle da iluminação, segurança e da temperatura; (c) economia: o sistema pode gerar uma planilha de gastos energéticos atualizada em tempo real, permitindo o planejamento do consumo energético. O sistema também poderá ser configurado para emitir avisos por *e-mail* ou *SMS* toda vez que houver gastado fora do comum de algum aparelho e também terá a autonomia de, por exemplo, desligá-lo se necessário; (d) praticidade: o usuário poderá configurar perfis para o edifício; (e) baixo custo: com uma produção em larga escala, assim como o desenvolvimento de produtos dedicados a esse fim, os sistemas e seu desenvolvimento se tornarão cada vez mais baratos; (f) autoconfiguração: o ideal é que cada carga ao ser inserida na rede seja automaticamente reconhecida e configurada para ser controlada e

monitorada pelo sistema; (g) facilidade de instalação: sistema dinâmico que reconhece automaticamente seus recursos e os viabiliza para o usuário, além da possibilidade de cabeamentos para que o próprio usuário do sistema possa instalá-lo, assim como fazer as modificações necessárias sem o conhecimento avançado sobre o processo; (h) internet: com a constante melhoria da qualidade e a tendência de preços cada vez mais baixos, controle distribuído e eletrodomésticos conectados pela Internet tendem a se fixar no mercado com grande facilidade, aumentando e facilitando ainda mais a implementação de sistemas de automação predial.

O projeto de automação predial da PUC MG está sendo desenvolvido com vistas à otimização de operação da sala de aulas do Prédio 50 (CPADEE), garantindo uso racional dos recursos energéticos disponíveis como: posicionamento automatizado dos breezes para impedir a incidência direta da radiação solar através das aberturas das fachadas leste e oeste, iluminação ativa apropriada a diferentes condições de uso, como sala de aulas com e sem projeção multimídia, movimento automático da tela de projeção, acionamento do sistema de condicionamento de ar, dentre outras. A etapa de programação está concluída. Para sua validação e definição final do software a ser utilizado, estão sendo construídas maquetes e modelos.

2.5 - Sub-Projeto 5 - Vidros Óticos para Janelas Eficientes

O conforto térmico resulta das condições climáticas externas e, portanto, da eficácia das proteções adequadas das edificações. A pesquisa e desenvolvimento de janelas inteligentes vêm contribuir na questão do Conforto Ambiental e Eficiência Energética. Vários estudos sobre dispositivos têm sido realizados visando o conforto térmico e eficiência energética. Em termos da arquitetura, existe a possibilidade da aplicação de certos sistemas contendo óxido de zinco como filme fino condutor.

As janelas inteligentes ou eletrocromáticas são dispositivos que representam a aplicação prática do fenômeno chamado eletrocromismo. Por definição eletrocromismo implica em uma mudança reversível de coloração, ocasionada pela aplicação de uma diferença de potencial da ordem de +2,5V. Os dispositivos eletrocromáticos apresentam a estrutura de sanduíche, composta por filmes finos de óxidos condutores (por exemplo, ZnO e SnO₂:F), e uma segunda camada de filme eletrocromático (por exemplo, WO₃ e TiO₂) (GRANQVIST, 1998).

Uma janela inteligente deve ser composta por algumas camadas que conferem a esta a propriedade de mudar de cor com aplicação de uma tensão ou corrente elétrica. A parte central é um condutor puramente iônico (eletrólito), usualmente um filme fino ou um material polimérico laminar; que deve ser um bom condutor para íons tais como Li⁺ ou H⁺. O eletrólito fica em contato com uma camada eletrocromática e um contra-eletrólito. O último, no caso de um dispositivo transparente, deve exibir eletrocromismo de maneira oposta àquela do filme eletrocromático base. Idealmente, o filme eletrocromático (contra-eletrólito) pode apresentar um forte eletrocromismo catódico ou anódico (GRANQVIST, 1998).

Estes sistemas seriam usados em janelas inteligentes, que regulam a luminosidade e o calor para ambientes fechados, reduzindo assim, o consumo de energia gasta pelas lâmpadas e aparelhos de ar condicionados, possibilitando o aumento no conforto térmico. A associação de indústrias de energia solar nos Estados Unidos, declara que uma janela inteligente (eletrocromática) poderia chegar a causar uma diminuição de 50% no gasto de energia num prédio. Isto torna seu uso importante não só para fins estéticos, de conforto térmico, mas, também para reduzir o gasto de energia. Apresentamos um estudo sobre algumas propriedades que viabilizam a utilização de filmes de óxido de zinco (ZnO) e FTO (óxido de estanho e flúor) em janelas eletrocromáticas. Neste trabalho são ressaltadas as características que potencializam as propriedades destes filmes tornando-os materiais de notável excelência para o uso em janelas inteligentes (SANTOS, R.F. (2002).

O Brasil encontra-se dividido em oito Zonas Bioclimáticas. Apesar de sua dimensão e da predominância do clima tropical, a falta de proteção adequada das janelas traz problemas de desconforto localizado. O comportamento do vidro frente à radiação solar e suas possíveis repercussões no aquecimento e resfriamento deve ser analisado criteriosamente em um projeto de janela. O vidro pode ser considerado transparente a radiações solares de pequeno comprimento de onda e opaco a radiação de grande comprimento de onda. Portanto, a radiação solar que entra por uma janela não retornará da mesma forma ao exterior, aquecendo o ambiente. Uma parte do calor absorvido será reemitido aos exterior da janela em forma de condução.

Neste projeto tem sido pesquisado vários filmes de óxidos metálicos, tais como óxido de zinco e óxido de titânio. O óxido de zinco possui em comparação com outros óxidos como óxido de estanho dopado de flúor, maior condutividade elétrica. Além de uma alta transparência na região do visível. Assim bons resultados foram obtidos ao se usar técnica de deposição por vapor físico. Os filmes demonstram ótima qualidade para serem utilizados com o fim de fazer parte integrante de janelas inteligentes. Vários protótipos tem sido desenvolvidos e ainda estão sob análise.

3 – Conclusões

Além de implantar as linhas de pesquisas, objetos dos subprojetos, nos Centros de demonstração e pesquisa aplicada em eficiência energética, da PUC-MG e CEFET-MG, a finalização de várias teses de mestrado e monografias de especialização, foi realizado o desenvolvimento de metodologias de ensaios padronizados que permitem o estabelecimento de parâmetros de comparação confiáveis entre diferentes equipamentos, desenvolvimento de softwares para o dimensionamento dos equipamentos testados buscando a melhor relação custo-benefício, desenvolvimento de procedimentos, metodologias e diretrizes para o projeto e operação de edificações energeticamente eficientes, avaliação do desempenho de equipamentos de condicionamento de ar e aquecimento d'água e janelas eficientes, através da integração de sua operação e das formas de energia passiva, visando o conforto e o uso eficiente de energia e desenvolvimento de métodos, técnicas e diretrizes para as concepções arquitetônicas e de entorno construído com ênfase em sua dimensão bioclimática integrada à tecnologia solar viável para a faixa de renda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- F. R. Bittencout and L.E. Zárate, Controle da Laminação em Redes Neurais, com Capacidade de Generalização, e Lógica Nebulosa via Fatores de Sensibilidade, Congresso Brasileiro de Automática, Natal, RN, 2002.
- Ashrae 93-86 Ra 91. Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta (1986).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Desempenho Térmico de Edificações, Parte 1:Definições, símbolos e unidades – Projeto 02:135.07-001. Rio de Janeiro, 2003
- GRANQVIST, C.G, AZENS, A., HJELM, KULLMAN, L., NIKLASSON, G.A., RONNOWS, D., MATTSSON M.S., VAIVARS G. (1998) “Recent Advances in Electrochromics for Smart Windows Applications”. Solar Energy
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2003 – Ano base 2002, Brasília
- SANTOS, R.F. (2002). “Arquitetura e eficiência nos usos finais da energia para o conforto ambiental”. São Paulo.
- Sella, C., MAAZA M., NEMRAOUI, O., LAFAIT, J., RENARD, N., SAMPEUR, Y. (1998). “Preparation, characterization and properties of sputtered electrochromic and thermochromic devices”, France.
- YOONG, G.L. e TULLOCH, G.E. (1989). Smart Windows- “Major Energy Saving for the Built Environment in the Tropics”.