

PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DO CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES ESCOLARES: ESTUDO DE CASO DA REDE PÚBLICA ESTADUAL MINEIRA

Fernanda Cristina Ferreira (1); Eleonora Sad de Assis (2)

- (1) Universidade Federal de Minas Gerais, Rua Aimorés 2255/1302, CEP: 30140-072, Belo Horizonte, MG, tel. (31)3292-0160, e-mail: nandaferreira@yahoo.com.br.
(2) Universidade Federal de Minas Gerais, Rua Paraíba 697, CEP: 30130-140, Belo Horizonte, MG, e-mail: elsad@arq.ufmg.br

RESUMO

Este trabalho trata do desenvolvimento de um procedimento de avaliação de desempenho para edificações escolares, focado na questão energética e no conforto ambiental. Um caso típico da rede mineira de escolas públicas foi utilizado para a aplicação deste procedimento, que integrou métodos empregados em APO e simulação computacional. Verifica-se que, normalmente, a análise energética não é acompanhada da análise de conforto e que, por outro lado, os trabalhos de APO envolvem, tradicionalmente, grandes equipes e longos períodos de medições e levantamentos o que, muitas vezes, inviabiliza sua disseminação. Assim, a simplificação das metodologias faz-se necessária para que a APO se torne parte integrante do processo de produção dos edifícios. Observou-se que a associação entre as técnicas empregadas em APO e a simulação computacional alcançou os resultados esperados, principalmente na análise termo-energética. Contudo, no caso do conforto luminoso, as medições não devem ser descartadas, pois algumas limitações nesse tipo de resultado, podem comprometer as avaliações. Foi verificado, ainda, que a arquitetura desempenha um papel fundamental para a conservação de energia. Assim, no projeto de edifícios escolares, atenção especial deve ser dada ao uso intensivo da luz natural e à sua integração à iluminação artificial como forma de combate ao desperdício de energia.

ABSTRACT

This paper deals with the development of a procedure for evaluating the performance of school buildings, focused on the energy audit and on the environmental comfort. A typical case of the public schools of Minas Gerais state was used for the application of this procedure, which integrated methods of post-occupancy evaluation and computer simulation. It is verified that, usually, energy analysis is not accompanied of the comfort analysis and that, on the other hand, the works of POE involve, traditionally, big teams and long periods of measurements and surveys that, many times, makes its dissemination unfeasible. So it is necessary to simplify the usual POE methodologies so that it can become part of the process of buildings production. It was observed that the association among the POE techniques and the computational simulation reached the expected results, mainly in the energy analysis, as well as in the analysis of thermal comfort. However, in the case of the luminous comfort, the measurements should not be discarded, because of some limitations in results which may commit the evaluations. It was also verified that the architecture plays a fundamental role for the conservation of energy. So in the project of school buildings, special attention should be given to the intensive use of the natural light and its integration to the artificial illumination as a form to avoid the waste of energy.

1. INTRODUÇÃO

As primeiras pesquisas que relacionavam ambiente e comportamento surgiram por volta de 1950, primeiramente, nos EUA e, posteriormente, foram se difundindo pelos demais países desenvolvidos. No Brasil, os primeiros trabalhos a utilizar técnicas de avaliação pós-ocupação surgiram a partir da década de 1970, e a partir da década de 1990 foram desenvolvidos os primeiros estudos com o foco mais direcionado na análise do conforto ambiental e da eficiência energética dos edifícios.

Em 1995, foi publicado um estudo, desenvolvido para edificações escolares de ensino fundamental e médio, realizado por alunos de graduação da FAUUSP, que teve como objetivo desenvolver uma avaliação técnica do desempenho de 24 escolas da Rede Estadual de Ensino de São Paulo (ORNSTEIN *et al*, 1995). As análises abrangeram desde sistema construtivo, conforto ambiental, funcionalidade, até as relações entre ambiente construído, comportamento humano, manutenção e atos de vandalismo. A análise das vinte e quatro escolas apontou um desempenho favorável no que tange às condições de conforto luminoso-visual. Entretanto, foram verificados alguns problemas, como a utilização além do necessário de iluminação artificial durante o dia e a presença de ofuscamento no plano de trabalho de alguns ambientes. Neste mesmo ano, essa equipe desenvolveu outra pesquisa, semelhante à apresentada acima, entretanto, com a proposta de analisar as relações entre comportamento e conservação de energia em escolas de 3º. Grau (ORNSTEIN *et al*, 1995). Foi utilizado como estudo de caso a Cidade Universitária Armando Sales de Oliveira (CUASO), da Universidade de São Paulo. Diferentemente do primeiro, esse trabalho teve o foco centrado na questão energética e, pelo fato de possuir um caráter quali-quantitativo, a metodologia de análise empregada possibilitou quantificar o potencial de conservação de energia do estudo de caso, uma vez que as ECO's propostas fossem implantadas.

Recentemente, outro estudo de avaliação pós-ocupação para edifícios escolares (MUELLER *et al*, 2004) utilizou um recurso bastante útil e pouco utilizado para a aferição do grau de satisfação dos usuários frente às características do edifício: o grupo focal. Nesse estudo, desenvolvido para a pré-escola E.M.E.I. Emir Macedo Nogueira e para a Praça Elis Regina, ambas localizadas no município de São Paulo, foram analisados aspectos relativos à funcionalidade, ao conforto ambiental, à segurança e à manutenção do edifício. Ao invés de utilizar questionários e entrevistas, a equipe optou pela adoção do grupo focal, empregando o desenho como instrumento de avaliação. Ao final do processo, observou-se que a técnica utilizada atingiu a dinâmica almejada, uma vez que possibilitou sensibilizar as crianças frente ao comportamento do edifício (MUELLER *et al*, 2004).

Em um estudo recente sobre a Rede Mineira de Escolas Públicas, Souza (2005) buscou caracterizar o setor de escolas públicas do estado de Minas Gerais através de índices de desempenho energético, tomando como estudo de caso as escolas do Município de Itabira. Para tal, foi feita uma análise estatística dos dados de consumo específico, com o objetivo de, através de um modelo matemático, traçar o perfil do consumidor nessa categoria. Os levantamentos abrangeram: histórico de contas de energia, números de alunos, de salas, de turnos, de turmas e calendários de todas as escolas públicas do município estudado. Após as análises, verificou-se que os índices mais representativos foram aqueles referentes o número de turmas e número de alunos, nessa ordem de prioridade. Esse trabalho indicou algumas características próprias do setor, como o alto nível de dispersão dos dados, reforçando a necessidade de estudos mais aprofundados.

O trabalho a partir do qual foi extraído este artigo teve como objetivo propor um procedimento de avaliação do desempenho energético de um caso típico da Rede Estadual de Escolas Públicas de Minas Gerais, através de simulação computacional, utilizando-se da estrutura da Avaliação Pós-Ocupação para os levantamentos técnicos e os levantamentos junto aos usuários, focando aspectos de conforto ambiental (térmico e luminoso) e eficiência energética. Analisando as recentes publicações sobre o assunto, observou-se que, normalmente, a análise energética nem sempre é acompanhada da análise de conforto e vice-versa. Além disso, as metodologias empregadas em APO, por aqui, geralmente envolvem grandes equipes, apresentam custos elevados e, no caso de APO ligada ao conforto ambiental, demandam um período relativamente grande de tempo dedicado a medições e levantamentos técnicos. Esse fato apresenta-se como um grande empecilho à sua disseminação. O propósito deste trabalho foi apresentar uma metodologia expedita de avaliação pós-ocupação focada na análise energética e de conforto ambiental, de maneira que uma análise não excluísse a outra, permitindo estabelecer uma hierarquia para as intervenções necessárias a partir da análise de satisfação

dos usuários.

O exame dos estudos precedentes permitiu a formulação da primeira hipótese, que, de certa forma, conduziu o desenvolvimento da metodologia. Ou seja, constatou-se que a maior parte do gasto energético em edificações escolares é devido à iluminação. Dessa forma, supôs-se que a tipologia analisada também seguiria a mesma tendência. A segunda hipótese surgiu a partir do primeiro contato com o edifício selecionado para estudo de caso, no qual verificou-se que ele praticamente não sofria interferência do entorno, sendo assim, supôs-se que a ênfase na iluminação natural em edifícios dessa natureza poderia assegurar grande economia de energia ainda na fase de projeto.

Neste artigo apresenta-se brevemente o caso estudado, identificando suas principais características construtivas e o perfil de seus usuários. Posteriormente, serão descritas as metodologias utilizadas nas diversas etapas da pesquisa, passando pelo levantamento dos dados, assim como os procedimentos utilizados no processamento dos mesmos, nas simulações de desempenho e, também, na análise dos resultados. Finalmente, nas conclusões, discute-se os resultados obtidos ao longo deste trabalho, evidenciando-se seus aspectos mais importantes, a fim de confirmar ou não as hipóteses levantadas e se foi possível alcançar os objetivos propostos.

2. ESTUDO DE CASO

2.1 Definição do Estudo de Caso

O censo escolar realizado em 2003 levantou um número total de 3.925 escolas em todo o Estado de Minas Gerais, sendo 249 pertencentes ao município de Belo Horizonte. A fim de definir um estudo de caso que fosse representativo dentro do universo total de escolas estaduais implantadas neste município, foram feitos três cortes em função do número de alunos, da data de inauguração e da tipologia padrão utilizada no projeto arquitetônico. Dessa forma, foi eleita para este estudo a Escola Estadual Pero Vaz de Caminha, localizada no bairro Cachoeirinha, região nordeste de Belo Horizonte.

2.2 Descrição do Estudo de Caso

A Escola Estadual Pero Vaz de Caminha faz parte de uma tipologia padrão criada na década de 1960 pelo corpo técnico do Estado que vem sendo utilizada até os dias de hoje. O Padrão CARPE (Comissão de Construção Ampliação e Reconstrução de Prédios Escolares do Estado) teve como objetivo propor uma tipologia para edificações escolares que fosse capaz de responder à crescente demanda por instituições públicas de ensino, daquela época, e que pudesse ser repetido por todo o estado.



FIGURA 01: Sistema construtivo Padrão Carpe e vista do pátio, secretaria / diretoria e salas de aula.

FONTE: Levant. fotográfico realizado pela autora.



FIGURA 02: Circulação aberta das salas de aula e vista fachada que deveria ser orientada para Sul.

FONTE: Levant. fotográfico realizado pela autora.

Seu projeto consiste, basicamente, de dois blocos paralelos, de dois pavimentos cada, ligados por um terceiro bloco de circulação vertical (ver FIG. 01 e 02). No primeiro pavimento, ficam dispostos os sanitários, o refeitório, a cantina, os setores administrativo e pedagógico, além de três salas de aula. No segundo pavimento, ficam as demais salas de aula. O espaço entre os dois blocos, com cerca de 10,00 metros de largura, é utilizado como pátio de recreação. Essa escola conta ainda com mais dois blocos,

que não fazem parte do padrão, dos quais, um encontra-se desativado e o outro é destinado à biblioteca.

Na concepção original do padrão, os dois blocos deveriam ser implantados com as maiores fachadas orientadas para Norte e Sul, sendo a fachada Sul a das maiores aberturas. A circulação entre as salas deveria ser feita pela face norte do edifício, através de varandas protegidas por um beiral de 2,00 metros de largura, que se prolongam por toda o perímetro do mesmo. O objetivo de se propor uma circulação aberta foi garantir a ventilação cruzada nos diversos ambientes da escola. Entretanto, contrariando as orientações da própria CARPE, esta escola foi implantada com as maiores fachadas voltadas para a maior dimensão do terreno, que coincide com a orientação Leste-Oeste.

O sistema construtivo é composto basicamente por estrutura pré-fabricada em concreto armado, tijolo cerâmico aparente e cobertura em telha cerâmica. A grande maioria dos caixilhos é composta por perfis de metalon e vidro transparente de 4mm. O sistema de iluminação artificial das salas de aula, salas do setor administrativo, pedagógico, cantina, refeitório e sanitários dos alunos é constituído por luminárias compostas por duas lâmpadas fluorescentes de 40W, com o mínimo de um circuito por ambiente, podendo chegar a três, sempre dispostos perpendicularmente à janela. Nas demais áreas foram previstas luminárias compostas por lâmpadas incandescentes de 60W ou 40W. Durante os levantamentos, observou-se que a maioria dos ambientes funciona com um número de lâmpadas inferior ao especificado no projeto devido à falta de reposição das lâmpadas queimadas.

2.3 Características dos Usuários

A composição das categorias de usuários da Escola E. Pero Vaz se dá da seguinte forma: no turno da manhã, estão os alunos no Ensino Fundamental, ou seja, os períodos que vão da 5^a. a 8^a. série; normalmente, o quadro de funcionários para este turno conta com 18 professores, 02 secretárias, 01 supervisora, 02 cozinheiras e 03 funcionários de serviços gerais. No turno da tarde, estão os alunos do Período Introdutório e Ensino Básico (1^a. a 4^a. séries), 12 professores, 02 secretárias, 01 supervisora, 02 cozinheiras e 03 funcionários de serviços gerais. Além desses funcionários, a escola conta também com mais três funcionários que trabalham em período integral: a diretora e a vice-diretora e uma orientadora pedagógica.

3. METODOLOGIA

3.1 Levantamento local de dados

Primeiramente, durante o levantamento *as-built* do edifício e a partir do contato inicial com alguns de seus “usuários chave”, foi possível registrar informações relativas à frequência de manutenção na escola, períodos de greve, datas de ativação e desativação de alguns ambientes, entre outras. Posteriormente, na segunda etapa do levantamento, foram obtidos os dados de consumo de energia da mesma, em quilowatt-hora, medidos pela concessionária local (CEMIG), para a série histórica referente aos anos de 1999 a 2004.

De posse desses dados, partiu-se para o levantamento dos dados necessários à determinação dos consumos desagregados por usos finais. As informações referentes às potências unitárias e demais especificações técnicas dos equipamentos e luminárias foram levantadas pela equipe técnica, a partir da observação das etiquetas presentes nos mesmos. O levantamento do regime de utilização das instalações e equipamentos elétricos foi feito através de entrevistas estruturadas com os usuários chave de seus diversos ambientes. As informações obtidas eram registradas em uma planilha, na qual esses equipamentos eram listados e, ao lado, eram anotadas suas potências unitárias, assim como as horas de utilização dos mesmos para cada dia da semana.

Na etapa seguinte, foram elaborados os questionários que seriam aplicados junto aos usuários, nos quais eles deveriam opinar sobre temas como: funcionalidade e conforto ambiental - térmico, luminoso e acústico. Nos tópicos relacionados ao conforto térmico e conforto luminoso, foram inseridas algumas questões de controle, que tiveram como objetivo garantir a confiabilidade na resposta do usuário. Por se tratar de um público predominantemente de crianças, a grande preocupação nessa etapa foi garantir seu perfeito entendimento por parte da população envolvida. Por esse motivo, na fase que precedeu a

aplicação do pré-teste, foi elaborado um pôster a partir do Manual de Conforto Ambiental (KOWALTOWSKI *et. al.*, [200-]), no qual foram apresentados, de maneira bem lúdica, alguns conceitos como: conforto ambiental, eficiência energética, dentre outros. O objetivo foi promover uma familiarização dos usuários com os temas da pesquisa, garantindo maior confiabilidade às respostas.

Durante o pré-teste, o questionário foi aplicado em duas salas por turno - na primeira não houve apresentação do pôster. Na segunda, o mesmo questionário foi aplicado após sua apresentação. O objetivo foi aferir se o mesmo influenciaria nas respostas dos usuários. Entretanto, a apresentação do pôster não alcançou os objetivos propostos. Os alunos ficaram muito dispersos, e grande parte deles não prestou atenção no que estava sendo exposto.

Concluída essa etapa, partiu-se para as medições das iluminâncias no interior das salas de aula. Para tal, foram selecionadas duas salas que, posteriormente, foram simuladas no software *AutodeskViz*[®], com o objetivo de estabelecer uma comparação entre as respostas do programa e os resultados das medições. As medições foram feitas nos dias 06 e 11 do mês de julho de 2006, segundo a Norma NBR 15215-4. O equipamento utilizado foi o luxímetro da marca Minipa MLM-1010, fornecido pelo Laboratório de Conforto da Escola de Arquitetura da UFMG.

3.2 Processamento dos dados

Após a etapa de levantamento, partiu-se para a macroanálise energética do edifício a partir da tabulação dos dados demográficos e dos dados de consumo levantados. Esta etapa forneceu os consumos médios mensais e anuais por unidade de área construída, o consumo médio mensal por usuário, etc. Ou seja, a partir dela, foi possível obter um primeiro parecer sobre o comportamento energético do estudo de caso.

Na etapa seguinte foi feita a desagregação do consumo do edifício, que consistiu no processamento dos dados referentes às rotinas de utilização dos equipamentos e instalações do mesmo. Esses dados foram levantados nas duas primeiras semanas de setembro de 2005. Os consumos foram categorizados em: iluminação, equipamentos, chuveiros elétricos, condicionadores de ar e refrigeradores de alimentos.

Em pesquisas de avaliação pós-ocupação com ênfase na eficiência energética, realizadas no Brasil, a desagregação dos consumos é feita normalmente pelos principais usos finais. No caso deste trabalho, além da desagregação por usos finais (sistemas e equipamentos), foi feita também a desagregação espacial do consumo, identificando os locais de maior ou menor consumo com o objetivo de obter um diagnóstico mais detalhado. Essa metodologia foi testada no edifício da EAUFMG por Lugdero e Assis (2005), onde o diagnóstico energético foi elaborado a partir da organização dos resultados em consumo estimado desagregado por usos finais e por tipologia de ambiente.

A análise estatística dos dados levantados junto aos usuários foi feita a partir das técnicas da estatística descritiva. As variáveis foram organizadas em tabelas de frequências, que relacionavam o número de indivíduos em cada categoria de resposta e o respectivo percentual em relação ao total de respondentes. Alguns resultados foram expressos em gráficos de barras, outros em tabelas.

3.3 Simulação de desempenho

Foram utilizados dois programas na simulação da escola. Primeiramente, no programa *AutodeskViz*[®], foram avaliadas as condições de iluminação no interior dos ambientes analisados. Sua simulação foi feita para os mesmos dias e horários em que foram realizadas as medições. O objetivo foi avaliar se o programa seria suficiente para as análises referentes ao conforto luminoso, permitindo a eliminação da etapa de medições, que demanda tempo e a utilização de equipamentos que nem sempre são acessíveis aos profissionais que lidam com esse tipo de avaliação.

Já no programa *Energyplus*, foram avaliadas as condições termo-energéticas da escola. Os dados de entrada para simulação com o programa são basicamente as coordenadas do projeto, a especificação de todos os materiais e sistemas empregados na obra, assim como as rotinas de utilização do edifício pelos seus usuários ao longo do ano. O módulo de ventilação utilizado na simulação foi o *AirflowNetwork model*, que possibilita a simulação de sistemas artificiais e naturais integrados e calcula o fluxo de ar através das zonas da edificação tanto de ventilação natural como infiltração. Foi

verificado, em outro estudo desenvolvido para o edifício do CPEI (Centro de Pesquisa em Energia Inteligente) do CEFET-MG (LOURA, 2006), que o programa não apresenta resposta satisfatória para simulação com renovação de ar somente por infiltração, por este motivo, as janelas basculantes foram consideradas abertas durante todo o período de simulação e, durante os horários de ocupação das salas, tanto as janelas como as portas foram consideradas totalmente abertas. Os coeficientes usados para "setar" o modelo foram tirados do livro *Natural ventilation in buildings: a design handbook* (ALLARD, 1998).

A calibração do modelo foi feita a partir da comparação das respostas do programa com as respostas dos usuários. O objetivo foi verificar se havia correspondência entre elas e se, a utilização desses dois recursos - simulação computacional e pesquisa de opinião - seria suficiente para obter um diagnóstico confiável do edifício. Como o questionário buscou aferir, genericamente, como o usuário se sente em relação aos períodos mais críticos do ano (inverno e verão), optou-se pela utilização de uma base de dados climáticas genérica ao invés da simulação para um dia específico, cujos dados pudessem ser obtidos a partir de medição. Essa base de dados, que está disponível para *download* no *site* do LabEEE da Universidade Federal de Santa Catarina, foi desenvolvida a partir do método denominado *Typical Meteorological Year - TMY* (CROWLEY; HUANG, 1997). Assim, a simulação foi feita para o ano inteiro (TMY de Belo Horizonte), assim como para as saídas automáticas dessa base de dados: a semana de temperaturas máximas (26/02 à 04/03 que está dentro do período de verão – 21/12 à 21/03), a semana de temperaturas mínimas (20/08 à 26/08 que está dentro do período de inverno – 21/06 à 21/09), a semana típica do período seco e a semana típica do período úmido, também referentes aos períodos de inverno e verão, respectivamente.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Análise do consumo desagregado

Uma vez checados os níveis de confiança e margem de erro estabelecidos para esta pesquisa, a partir do confrontamento dos dados levantados com os dados medidos pela concessionária local, partiu-se para a análise do consumo desagregado. Primeiramente, examinou-se o consumo desagregado de toda a escola, fazendo a diferenciação por usos de equipamentos e iluminação; posteriormente, os consumos brutos de iluminação e equipamentos foram analisados por setor: administrativo (inclui as salas da diretoria e secretaria); salas de aula; pedagógico (inclui salas da pedagoga, dos professores e sala da disciplinaria); cantina e afins (inclui cantina, refeitório, sala da merenda e baleiro); biblioteca; e diversos (inclui sanitários, vestiários, depósito e almoxarifado).

Do consumo desagregado estimado por uso final nos blocos 01, 02 e 03, representado pela FIG. 03, observa-se que o sistema de iluminação artificial é responsável por 60% de toda a energia consumida pela escola, em segundo lugar, encontram-se os refrigeradores de alimentos com 29% e, por último, estão os equipamentos de informática, áudio e vídeo, eletrodomésticos portáteis, entre outros, que somam, juntos, um consumo equivalente a 11%.

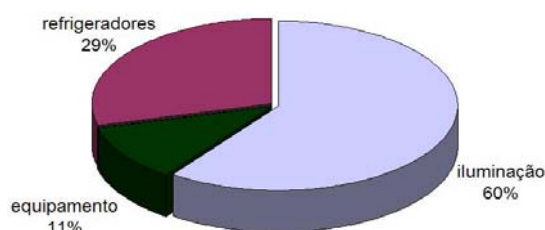


FIGURA 03: Gráfico do Consumo estimado desagregado por usos da Escola Estadual Pero Vaz de Caminha. FONTE: Elaborado pela autora a partir do *software* Excel®.

Analisando os resultados do consumo desagregado estimado por uso final para os setores: administrativo, salas de aula, pedagógico, cantina e afins, biblioteca e diversos, distintamente para iluminação e equipamentos, observa-se que o setor de salas de aula é o que mais consome energia com iluminação artificial, com 59%, seguido da administração, com 14%, e biblioteca, com 13% (ver FIG. 04). Observando a FIG. 05, percebe-se que o setor referente à cantina e afins é o maior consumidor por uso de equipamento, com 88% (acredita-se que isso se deva à presença dos refrigeradores de

alimentos), seguido do setor administrativo com 12%.

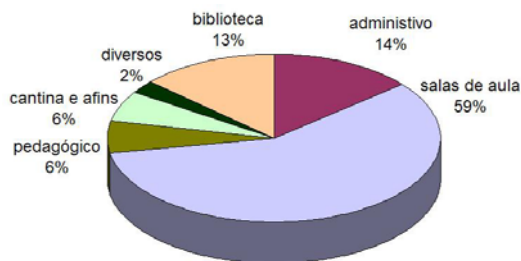


FIGURA 04: Consumo estimado desagregado por setor para iluminação. FONTE: Elaborado pela autora a partir do *software* Excel®.

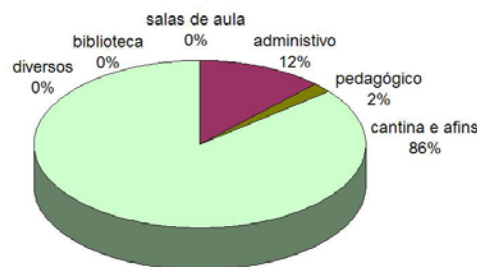


FIGURA 05: Consumo estimado desagregado por setor para equip.. FONTE: Elaborado pela autora a partir do *software* Excel®.

Percebe-se, a partir dessa segunda desagregação, que o consumo com iluminação artificial no setor de salas de aula é bastante significativo. Entretanto, como poderá ser visto mais adiante, esse consumo deveria ser ainda maior, pois verificou-se que as iluminâncias encontradas para as duas salas avaliadas estão abaixo do que recomenda a norma, mesmo com a iluminação artificial acionada. Além disso, praticamente todas as salas apresentam um número significativo de lâmpadas queimadas.

4.2 Análise de conforto térmico

Na análise de conforto térmico, a proposta foi verificar se as respostas do programa *Energyplus* eram compatíveis com as análises dos usuários e se a utilização desses dois instrumentos, pesquisa de opinião e simulação computacional, seria suficiente para estabelecer um diagnóstico confiável, assim como propor melhorias de curto, médio e longo prazos, a partir de uma hierarquia estabelecida pelos próprios usuários. Para tal, primeiramente, foi feita uma análise técnica do edifício a partir da comparação entre os dados de saída solicitados ao programa e a análise da zona de conforto obtida através do Diagrama de Givoni, índice de conforto mais adequado à condição climática de Belo Horizonte (GOÇALVES, 2000). Posteriormente, essa análise técnica foi confrontada com a opinião dos usuários, checando as potencialidades e limitações do programa nesse tipo de investigação. A simulação foi feita para quatro salas de aula, sendo uma em cada extremidade dos dois blocos de salas. Foi considerada uma ocupação média de 31 alunos por sala. Os dados de saída solicitados ao programa foram: temperatura média do ar; temperatura média radiante; umidade relativa e taxa de renovação do ar.

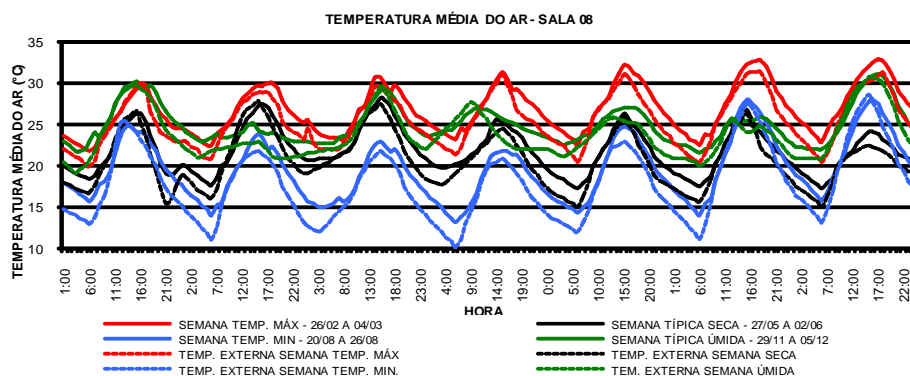


FIGURA 06: Temperatura média do ar e temperatura externas da sala 08, para as semanas de temp. máximas e mínimas, para as semanas típicas do período seco e do período úmido, gerado a partir da base de dados usada na simulação. FONTE: Elaborado pela autora a partir do *software* Excel® com dados gerados pelo *Energyplus*.

Comparando os gráficos de temperatura e umidade relativa do ar, gerados pelo programa para as quatro salas avaliadas, com os dados climáticos de Belo Horizonte plotados no Diagrama de Givoni, observou-se que, durante a semana mais quente do ano, as temperaturas internas das salas permaneceram maiores que as temperaturas externas para quase todos os dias analisados, saindo da zona de conforto. E isso foi observado até mesmo durante as horas em que as salas permanecem desocupadas (ver FIG. 06). O mesmo foi verificado para a semana mais fria e para as semanas típicas dos períodos seco e úmido. Entretanto, no período de inverno, esse fato não significou desconforto.

Em climas que apresentam períodos bem definidos (inverno seco e verão chuvoso), como o de Belo Horizonte, recomenda-se: construções orientadas segundo eixo longitudinal leste-oeste; coberturas leves e bem isoladas; paredes maciças com tempo de transmissão térmica superior a oito horas; aberturas nas fachadas norte-sul, à altura do corpo humano, que permitam circulação de ar permanente e vãos entre 25 e 40% das fachadas (recomendações geradas a partir das Tabelas de Mahoney).

Vimos, que a implantação do edifício no terreno está em desconformidade com as orientações de projeto propostas para esse tipo de clima. Além disso, a tipologia de janelas utilizada, com duas bandeiras fixas e duas de correr, reduz a área de ventilação pela metade. O balanço térmico desses ambientes (ver FIG. 07) mostrou que a ocupação é o que mais contribui para o ganho de calor no interior dos mesmos. Dessa forma, o ideal seria utilizar uma esquadria que permitisse a utilização de 100% do vão para ventilação, atendendo às recomendações mencionadas acima.

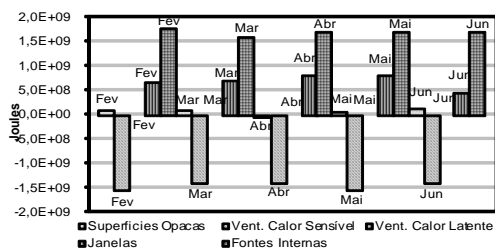


FIGURA 07-A: Balanço térmico da sala 08 para os meses letivos do 1º. semestre do ano simulado.
 FONTE: Elaborado pela autora a partir do *software* Excel® com dados gerados pelo *Energyplus*.

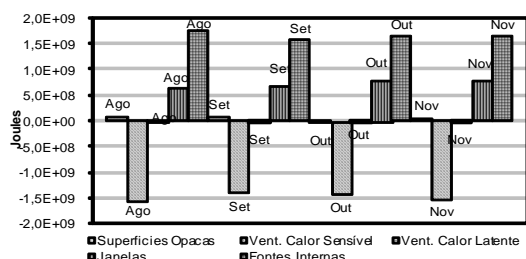


FIGURA 07-B: Balanço térmico da sala 08 para os meses letivos do 2º. semestre do ano simulado.
 FONTE: Elaborado pela autora a partir do *software* Excel® com dados gerados pelo *Energyplus*.

Comparando as saídas do programa com as respostas dos usuários, percebeu-se que as observações colocadas durante a análise técnica foram confirmadas pelos mesmos. Ou seja, no inverno, grande parte deles considera a sala variando de agradável a fria. Já no verão, mais de 60% considera a sala variando de quente a muito quente.

4.3 Análise de conforto luminoso

Na análise do conforto luminoso, primeiramente os dados medidos foram comparados com os níveis mínimos exigidos pela norma brasileira NBR-5413. Posteriormente, na análise técnica, esses dados foram confrontados com as imagens geradas a partir da simulação do modelo no programa *AutodeskViz*® e, seguindo o que foi proposto para a avaliação do conforto térmico, essa análise foi comparada com as respostas dos usuários. A etapa de medição das iluminâncias, nesse caso, serviu para auxiliar na calibração do modelo e, além disso, confirmar se a utilização do programa seria suficiente para se obter um diagnóstico confiável a respeito das condições de iluminação do edifício.

A medição das iluminâncias das salas de aula selecionadas mostrou que, em quase todos os pontos aferidos, os valores encontrados não atingiram o mínimo estabelecido pela norma. Entretanto, nas proximidades das janelas, foram encontrados valores bem acima desse mínimo, ou seja, não existe uniformidade na distribuição da iluminação natural. Esse fato gera áreas de sombras no fundo das salas e ofuscamento nas proximidades das janelas.

Com relação à iluminação artificial, observou-se que o projeto luminotécnico das salas de aula possui dois circuitos dispostos perpendicularmente às janelas e paralelamente ao quadro. Do ponto de vista do uso, essa disposição não está incorreta, entretanto, do ponto de vista da eficiência energética, o ideal seria que os circuitos fossem paralelos às janelas. Dessa forma, o acionamento dos mesmos aconteceria de forma gradual na medida que a quantidade de luz natural fosse diminuindo, começando pelo mais distante das janelas até o mais próximo. No caso da escola analisada, a solução para esse problema seria a criação de um terceiro circuito para iluminar exclusivamente o quadro e redistribuir os outros dois, de modo que a iluminação artificial funcionasse de maneira complementar à iluminação natural.

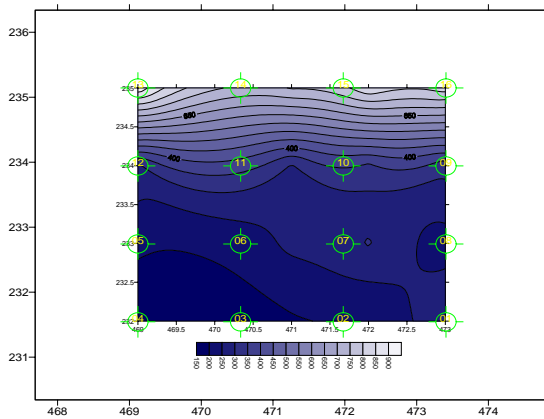


FIGURA 08-A: Iluminância da sala 03 para o dia 11/07/06 às 10:24 horas gerado a partir de dados de medição – céu claro. FONTE: Elaborado pela autora.

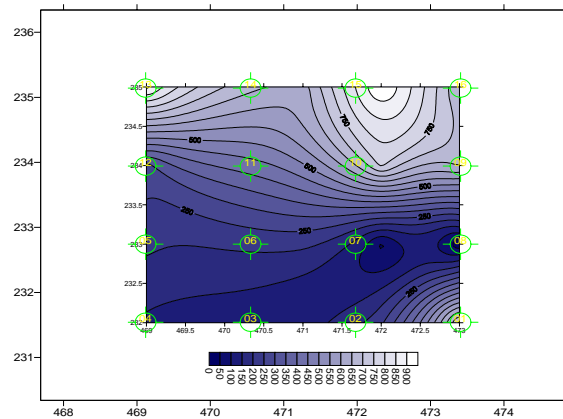


FIGURA 08-B: Iluminância da sala 03 para o dia 11/07/06 às 10:24 horas gerado a partir do modelo – céu claro. FONTE: Elaborado pela autora.

A partir da comparação entre os dados medidos e simulados, observou-se, em quase todas as situações avaliadas, uma certa correspondência no comportamento dos mesmos em relação à distribuição das iluminâncias ao longo das salas. Ou seja, tanto na medição quanto na simulação, foram observadas maiores iluminâncias nas proximidades da janela e áreas de sobra no lado oposto. Entretanto, ao comparar os valores medidos e simulados, ponto a ponto, percebe-se que os valores simulados são significativamente mais altos que os valores medidos (ver FIG. 08). Acredita-se que essa distorção possa se dever ao modelo de céu considerado pelo programa. Uma vez fornecidos os dados de latitude e longitude, o programa calcula automaticamente os três modelos de céu para aquela localidade. É provável que o modelo de céu gerado para Belo Horizonte não corresponda fielmente à condição verificada nos dias em que foram realizadas as medições.

A opinião dos usuários referente ao conforto luminoso também correspondeu ao que foi verificado pela equipe técnica. Em geral, quando as luzes estão apagadas, grande parte dos alunos considera as condições de iluminação das salas bastante ruins. Entretanto, quando a iluminação artificial é acionada, a maioria deles considera a sala clara e muito clara. Contudo, como os questionários foram aplicados sob a forma de entrevista para cada usuário em separado, foi possível observar que grande parte dos que consideram a sala muito clara, na verdade, prefere a sala com as luzes apagadas pelo fato de a iluminação artificial provocar ofuscamento no quadro. Ou seja, esses alunos atribuíram conotação negativa à condição muito clara. Assim, a iluminação natural não é suficiente para garantir níveis de iluminação adequados, e a iluminação artificial, quando acionada, provoca ofuscamento nos alunos.

5. CONCLUSÕES

Avaliando as potencialidades e limitações colocadas ao procedimento proposto, observou-se que a utilização das técnicas empregadas em APO durante os levantamentos técnicos e os levantamentos junto aos usuários, associadas à simulação computacional, alcançaram os resultados esperados, na análise termo-energética. Observou-se que a simulação do modelo no programa *Energyplus*, calibrado a partir das respostas dos usuários, permitiu desenvolver uma análise técnica com grau de confiabilidade necessário para a proposição de medidas de *retrofit*, sem que fosse necessário o monitoramento do edifício através de medições ao longo do ano. Além disso, a metodologia proposta para o cálculo do consumo desagregado a partir do levantamento das rotinas e perfis de utilização das instalações e equipamentos da escola apresentou resultados bastante confiáveis, visto que o consumo total estimado ficou muito próximo da média dos consumos medidos pela concessionária local.

Por outro lado, na análise do conforto luminoso, a simulação computacional não substituiu a etapa de medições, pois o *AutodeskViz*[®] apresentou algumas limitações que poderiam comprometer os resultados. Além disso, apesar desse programa permitir a entrada das especificações técnicas dos diversos materiais empregados na obra tais como rugosidade, transparência, refletância, entre outros, no Brasil, são poucos os fabricantes que fornecem essas informações, por este motivo, muitas vezes esses valores são estimados, o que também poderia comprometer o resultado final.

A avaliação desta escola mostrou que, do ponto de vista do conforto térmico, ela poderia ter um desempenho bem melhor caso tivesse sido implantada corretamente e, além disso, possuísse

esquadrias que aproveitassem 100% do vão para ventilação. Com relação ao conforto luminoso, as medições mostraram que a contribuição da iluminação natural ao projeto luminotécnico é mínima e, praticamente, não existe uniformidade na distribuição da luz. O fato de a escola estar implantada de forma incorreta agrava esta situação, pois, durante a manhã, o sol penetra quase perpendicularmente à janela, aumentando o desconforto. Além disso, o beiral, de 2,00 metros de largura e a utilização de cores escuras tanto no piso como nas paredes, impedem a reflexão de luz no interior das salas.

O estudo do padrão CARPE trouxe à tona as principais limitações colocadas à padronização de projetos: apesar dele ter sido concebido dentro dos conceitos da arquitetura bioclimática, pôde-se constatar que nem sempre é possível manter as condições propostas durante a implantação do modelo e, muitas vezes, os ajustes influenciam diretamente no desempenho do edifício. Baseado na constatação de Mascaró *et al.* (1992:39), na qual eles afirmam que, para Belo Horizonte, a melhor orientação das fachadas principais é a Norte/Sul, acredita-se que a inversão da orientação da escola no terreno implicou uma série de prejuízos tanto ao conforto térmico, como ao conforto luminoso.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, Francis (1998). *Natural ventilation in buildings: a design handbook*. London: James & James, 1998. 356p.
- CROWLEY, D. e HUANG, Y. J. (1997) *Does it matter which weather data you use in energy simulations?* In: User News by Simulation Research Group. Pub. 439, volume 18.
- GONÇALVES, Willi de Barros (2000). *Estudo dos índices de conforto térmico avaliados com base em população universitária na região metropolitana de Belo Horizonte*. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Dep. Engenharia Mecânica, UFMG, Belo Horizonte, 2000.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K., *et al.* [200_] *Manual de Conforto Ambiental*. Campinas: Dep. de Arquitetura e Construção da Faculdade de Eng. Civil, Arq. e Urb. da UNICAMP, s/d. 54 p.
- LOURA, Rejane Magiag (2006). *Avaliação de desempenho termo-energética de edificações: desenvolvimento de um procedimento*. 2006. Dissertação (Mestrado em Eng. da Energia) - Departamento de Engenharia Nuclear, UFMG, Belo Horizonte, 2006.
- LUGDERO, J. G.; ASSIS, E. S. (2005) *Avaliação preliminar do consumo energético desagregado da Escola de Arquitetura da UFMG*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 2005. *Anais...* Belo Horizonte: ABEE, 2005. p. 11-16.
- MASCARÓ, Juan Luis; *et al.* (1992). *Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo dos edifícios*. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto Editores, 1992. 134p.
- MUELLER, Cecília Matos *et. al* (2004). *A avaliação pós-ocupação com ferramenta de projeto: o caso da Pré-escola E. M. E. I. Emir Macedo Nogueira e da Praça Elis Regina em São Paulo*. In: NUTAU 2004, São Paulo. [*Anais eletrônicos...*] São Paulo: FAUUSP, 2004. 1 CD-ROM.
- ORNSTEIN, Sheila Walbe; BRUNA, Gilda; ROMERO, Marcelo A. (1995). *Ambiente construído e comportamento: a avaliação pós-ocupação e a qualidade ambiental*. São Paulo: Studio-Nobel/FUPAM, 1995. 212 p.
- SOUZA, Anádia Patrícia Almeida de (2005). *Uso da energia em edifícios: estudo de caso de escolas municipais e estaduais de Itabira, Minas Gerais*. 2005. 198 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

AGRADECIMENTOS

À Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) pelo financiamento do Proj. de Pesquisa e Desenvolvimento CEMIG 4020000010: Abordagem Integrada da Efic. Energ. e Energias Renováveis, onde se insere este trabalho, em especial a Eng. Dra. Antônio Sônia C. Diniz, coordenadora do Projeto.