



PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE *RETROFIT* DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NA BIBLIOTECA MÁRIO DE ANDRADE EM SÃO PAULO (SP), BRASIL

Sandra Regina Pinto

Arquiteta, mestranda do Programa de Pós-Graduação na área de Tecnologia da Arquitetura da FAU/USP, especialista em Conforto Ambiental e Conservação de Energia (FUPAM/FAU/USP); Rua Toneleros nº 265, apto. 63, Lapa, São Paulo/SP, CEP 05056-000; (11) 3801-2215/9715-7053; e-mail: sandra.reginap@uol.com.br.

RESUMO

Este artigo apresenta o *retrofit* da iluminação artificial proposto para a Biblioteca Mário de Andrade, em São Paulo/SP, Brasil, sua implantação e os resultados obtidos. Tal projeto resultou de uma pesquisa acadêmica que buscou a eficiência do sistema de iluminação artificial do edifício aliado ao conforto visual dos usuários. O diagnóstico do edifício foi baseado na análise das características físicas da edificação, do sistema de iluminação artificial instalado, do consumo de energia, das medições dos níveis de iluminância e das simulações computacionais. Tal diagnóstico embasou a formulação de propostas de *retrofit* da iluminação artificial, desenvolvidas por meio de simulações. As proposições foram avaliadas em função da redução no consumo de energia, sendo estimado o custo de implantação da estratégia mais adequada. Baseando-se na pesquisa citada e através de um convênio com a concessionária de energia local, foi implantado o Projeto de Eficiência Energética no edifício. Como resultado, verificou-se a eficiência do novo sistema de iluminação e sua adequação aos níveis de iluminância recomendados. Concluiu-se que, através da implantação do *retrofit*, foi possível eficiência o sistema de iluminação artificial obsoleto, obtendo-se economia de energia e melhoria do conforto visual.

Palavras-chaves: *retrofit*, eficiência energética, iluminação artificial, biblioteca.

ABSTRACT

This article presents the artificial lighting retrofit proposed to Mario de Andrade Public Library in São Paulo/SP, Brazil, as well as its implementation and the results achieved. Such project resulted from an academic research which pursued the building lighting efficiency together with its users' visual comfort. The diagnosis of the building was based on the building physical features analysis, the artificial lighting system installed, the energy consumption, the illuminance levels measures and the computer simulations. Such diagnosis based the formulation of proposals of artificial retrofit illumination, developed through simulations. The proposals were evaluated in terms of energy consumption reduction and the cost of implementation of the most suitable strategy was estimated. Based on the quoted research and through an accord with the local energy concessionaire, the building Energy Efficiency Project was introduced. As a result, the new lighting system efficiency was verified and so was its suitability to recommended illuminance levels. In conclusion, through the retrofit's implementation it was possible to make the obsolete artificial lighting system efficient, obtaining energy economy and visual comfort improvement.

Keywords: retrofit, energy efficiency, artificial lighting, library.

1. INTRODUÇÃO

Estudos recentes mostram que o consumo de eletricidade pelos edifícios representa cerca de 40% dos totais de cada país (TEIXEIRA, 2004) e, no caso dos EUA e Europa, este consumo pode atingir 50% (ROMÉRO, 1997). Em relação ao Brasil, este percentual corresponde a 42% do total nacional (TEIXEIRA, 2004) e em São Paulo representa cerca de 40% (ROMÉRO, 1997). Sobre os diversos usos finais de energia nas edificações brasileiras, observa-se que a iluminação artificial atinge a ordem de 24% do consumo em edifícios com condicionamento artificial e cerca de 70% em edificações não climatizadas (PROCEL, 1998). Nos edifícios públicos não climatizados verifica-se que o consumo pela iluminação artificial pode chegar a 90% (LAMBERTS et al., 1997). Nota-se, então, que tais edifícios apresentam um potencial de diminuição no consumo de energia, sobretudo através de reformulações no sistema de iluminação artificial (MAGALHÃES, 2001).

No contexto apresentado, o *retrofit* mostra-se como um importante instrumento para atingir tal redução. Este termo de origem inglesa, originalmente utilizado para definir qualquer tipo de reforma, (GHISI, 1997), consiste no estudo da otimização energética da edificação (LAMBERTS et al., 1997) e representa a eficiência do sistema de iluminação artificial, visando a conservação de energia sem afetar o conforto visual do usuário (GHISI, 1997).

Desenvolvendo este tema, foi elaborada a monografia intitulada “*Retrofit* da iluminação artificial da Biblioteca Mário de Andrade: a luz e o espaço de ler”, visando a conclusão do Curso de Especialização em Conforto Ambiental e Conservação de Energia (CECACE II) pela Fundação para a Pesquisa Ambiental (FUPAM) da FAU/USP. Escolheu-se tal edifício por apresentar elevado consumo de energia decorrente da iluminação artificial, por ser uma instituição representativa e por destinar-se ao uso público onde, medidas que reflitam a utilização racional da energia elétrica, mostram-se essenciais para despertar a consciência coletiva sobre a necessidade de preservação dos recursos energéticos.

Tal pesquisa visou eficientizar o sistema de iluminação artificial do edifício e adequar os ambientes aos níveis de conforto visual exigidos pelas diversas atividades. As diretrizes definidas pela monografia pautaram a implantação do Projeto de Eficientização Energética na Biblioteca, efetivado através de um convênio com AES Eletropaulo, obtendo-se dados reais para a constatação da redução no consumo de energia. Assim, este artigo apresenta o *retrofit* elaborado, sua implantação e os resultados obtidos.

2. ESTUDO DE CASO: BIBLIOTECA MÁRIO DE ANDRADE

A Biblioteca Mário de Andrade, instituição pública municipal, localiza-se na Rua da Consolação nº 94, região central da cidade de São Paulo e constitui-se na segunda maior biblioteca do país. Foi projetada pelo arquiteto Jacques Pilon e inaugurada em 25 de janeiro de 1942, tendo área construída de 10.540m², distribuída em 4 andares administrativos e 22 andares destinados ao acervo. É um edifício tombado desde 1992, considerado um bem de excepcional interesse histórico e arquitetônico e recebia, à época do término da implantação do projeto, um público de cerca de 1.400 pessoas/dia.

3. METODOLOGIA

A metodologia foi estruturada conforme as etapas da pesquisa, seguindo a descrição a seguir. A análise do edifício enfatizou os aspectos referentes à iluminação natural, artificial, consumo e demanda de energia elétrica do prédio e foi feita a partir dos dados coletados, das medições, da identificação do consumo desagregado e de simulações computacionais.

O levantamento de dados foi realizado em dezembro/2002 e janeiro/2003 e incluiu: pesquisa bibliográfica e histórica, levantamento fotográfico, das contas de energia e dos equipamentos prediais que consomem energia, elaboração de plantas, caracterização física e funcional dos ambientes, mapeamento e caracterização do sistema de iluminação artificial.

As medições do nível de iluminância seguiram as orientações da ABNT-NBR 5382 (1985), sendo utilizados luxímetros digitais, marca Lutron, modelo LX-101. Foram realizadas na sala de leitura Herculano de Freitas e num andar tipo do acervo, considerados os ambientes mais representativos da edificação. Para a sala de leitura estabeleceu-se uma malha reticulada com 25 pontos distribuídos em 5

faixas paralelas às aberturas, onde as três primeiras corresponderam às mesas, a quarta faixa à circulação e a quinta às estantes. Foi determinado o nível de iluminância médio (Em) de cada faixa. Para o caso da luz natural, foram utilizados simultaneamente dois luxímetros para medir a iluminância externa e interna em cada ponto e para a luz artificial, foi utilizado apenas um luxímetro. O sistema artificial permaneceu acionado durante as medições da luz natural, uma vez que não houve autorização para desligá-lo. As medições no acervo foram realizadas no plano horizontal - corredores entre as estantes na altura de cada prateleira - e no plano vertical - nas prateleiras de maneira paralela aos livros, referindo-se às etiquetas dos volumes. Neste último caso, o usuário permaneceu em frente à estante, simulando a situação real. No caso da luz natural, o acervo não foi considerado por ser recomendado apenas o sistema artificial.

Pelo fato dos equipamentos (elevadores, monta-carga, equipamentos de informática, bomba d'água e *splits*) não apresentarem consumo significativo, o consumo desagregado foi calculado apenas para o sistema de iluminação artificial. A partir das características e quantidades de luminárias, lâmpadas e reatores existentes em cada ambiente, calculou-se a potência instalada (W) em cada local. Identificados os períodos de funcionamento de cada ambiente (horas e dias/mês) e multiplicados pelos valores referentes à potência instalada correspondente, obteve-se o consumo (kWh) de cada local que, somados, resultaram no consumo desagregado (kWh) da edificação referente à iluminação artificial. Analisando-se as contas de energia de 11 meses (dezembro/2001 a outubro/2002), adotando-se os últimos 3 meses para efeito de cálculo do consumo médio mensal referente ao consumo de todos os equipamentos e, comparando-se tal valor ao consumo da iluminação artificial, obteve-se o percentual do consumo desagregado referente ao sistema artificial instalado. O valor da densidade de potência (W/m²) de cada ambiente foi obtido pela divisão da potência instalada pela área útil correspondente.

Para analisar o comportamento da luz natural na sala de leitura, ao longo do dia, no verão, inverno e equinócio, foram feitas simulações através do programa Daylight (ENGLAND, 1991), considerando-se suas limitações. Assim, os percentuais dos níveis de iluminância obtidos foram sintetizados em tabelas com os níveis de iluminância para a cidade de São Paulo, na condição de céu parcialmente encoberto, para a fachada correspondente, nas estações citadas e nos horários das 9 às 18 horas. Obteve-se, portanto, os valores das iluminâncias internas ao longo do ano em cada faixa estudada.

As principais considerações verificadas pela análise dos dados foram sintetizadas no diagnóstico energético da edificação, o qual embasou a elaboração de três propostas de *retrofit*. Cada ambiente foi estudado separadamente de acordo com suas necessidades, sendo que não foi alterada a iluminação do auditório, pois se adequava aos níveis de iluminância recomendados segundo seu uso e função. Foi utilizado o programa Visual 2.0 (LITHONIA LIGHTING, 1999) para desenvolver o projeto luminotécnico de cada ambiente, com exceção da sala de leitura Herculano de Freitas. Neste caso, foi usado o programa 3D Studio VIZ (AUTODESK, 1996) para construir a maquete digital que reproduzisse o ambiente e, por meio do programa Lightscape 3.2 (AUTODESK, 1996), foram simuladas quatro possibilidades de reformulação do sistema artificial, considerando-se diferentes luminárias e formas de distribuição. Após análise e comparação dos resultados, optou-se pela proposta considerada mais adequada para o caso. De acordo com as características físicas de cada ambiente, as luminárias foram distribuídas em planta. A análise da iluminação natural, visando sua integração com o projeto luminotécnico, seguiu a metodologia já citada e foi feita para a sala de leitura, uma sala administrativa e uma cabine de pesquisa padrão.

Para cada proposta de *retrofit*, os ambientes foram avaliados separadamente e o consumo de energia referente à iluminação artificial foi calculado, resultando no consumo total da edificação. Empregou-se a metodologia citada para cálculo do consumo desagregado. Também foram calculados os valores de densidade de potência de cada ambiente e do edifício. O resultado de cada proposta foi comparado ao consumo original do edifício e verificado o percentual de economia de energia. Foi estimado o custo de implantação da estratégia mais adequada para o caso e, em função da estimativa da economia de energia anual gerada, foi possível verificar o tempo de retorno do investimento.

Para implantação do Projeto de Eficientização Energética foram feitas adequações na proposta de *retrofit* desenvolvida pela monografia, sendo que a medição dos níveis de iluminância do sistema de iluminação artificial instalado seguiu a metodologia descrita anteriormente.

4. ANÁLISE DO EDIFÍCIO E DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

4.1 Iluminação Natural

Os ambientes têm iluminação unilateral, janelas com corpo alto, algumas possuem bandeiras, os caixilhos são de ferro, os vidros incolores e não há proteções internas ou externas, sendo que as árvores do entorno imediato ao edifício dificultam a incidência direta do sol nos ambientes. As áreas administrativas, de leitura e pesquisa têm suas aberturas orientadas para o sul.

As medições dos níveis de iluminância foram realizadas no dia 13 de dezembro de 2002 às 12 horas com a condição de céu parcialmente encoberto. O nível de iluminância externo médio junto das aberturas foi de 26.500lux e os níveis internos e médios (Em) de cada faixa podem ser verificados na planta representada pela Figura 1.

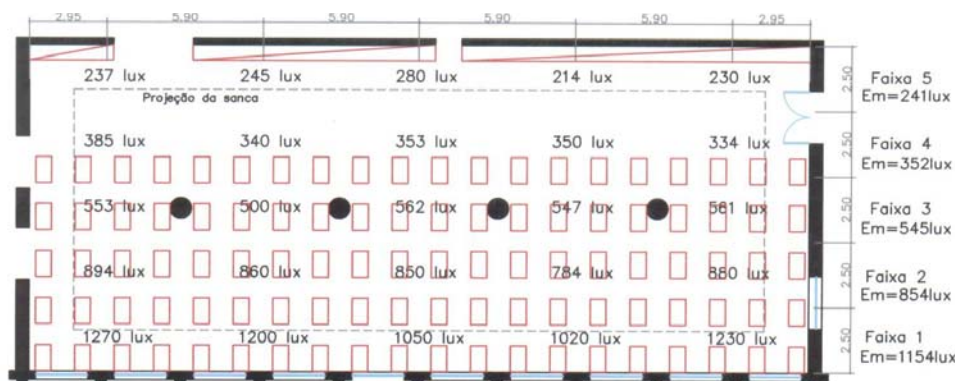


Figura 1 - Sala de leitura Herculano de Freitas. s/ escala. Fonte: Bahiense et al., 2003, p.83.

Os resultados das medições e simulações foram comparados aos níveis de iluminância recomendados pela ABNT-NBR 5413 (1991) e a luz natural mostrou-se suficiente à realização das tarefas de leitura e pesquisa na maior parte do ano, sobretudo nas faixas 1 a 4 no verão e equinócio e nas faixas 1 a 3 no inverno, necessitando de complementação pelo sistema artificial no início da manhã e final da tarde. Apenas na faixa 5 foi necessário o uso constante da luz artificial. Nas mesas junto às aberturas (faixa 1) constatou-se ofuscamento e contraste se comparado à superfície das estantes (faixa 5).

4.2 Iluminação Artificial

O sistema de iluminação artificial das áreas administrativas, de leitura, pesquisa e circulação principal era composto por luminárias tipo calha, sem aletas, instaladas junto ao teto, com 4 lâmpadas fluorescentes de 40W, algumas de 32W e reatores eletromagnéticos. Havia muitas lâmpadas queimadas em virtude da precariedade da manutenção predial e da dificuldade de substituição em locais com elevado pé-direito.

No acervo, as luminárias comportavam apenas uma lâmpada de 40W. Nos *halls* secundários, escadas e áreas de serviço havia lâmpadas incandescentes de 60W com globos e algumas fluorescentes compactas instaladas em *spots* impróprios ao seu tamanho. A iluminação do auditório era composta por *spots* com lâmpadas fluorescentes compactas de 9W. Com exceção do acervo e do auditório, as lâmpadas permaneciam acesas ininterruptamente de segunda à sexta-feira, das 9 às 21 horas e aos sábados das 9 às 18 horas, independente dos níveis provenientes da luz natural.

As medições dos níveis de iluminância foram realizadas no dia 22 de janeiro de 2003 no período noturno. No acervo, os níveis de iluminância máximos obtidos para os planos horizontal e vertical foram respectivamente de 155 e 104lux na altura de 1,75m, os valores mínimos atingidos foram respectivamente de 59 e 25lux a 0,18m do piso e os respectivos valores médios foram de 98 e 54lux.

Os níveis de iluminância medidos na sala de leitura Herculano de Freitas podem ser verificados pela planta representada pela Figura 2, sendo que a iluminância média do ambiente foi de 150lux.

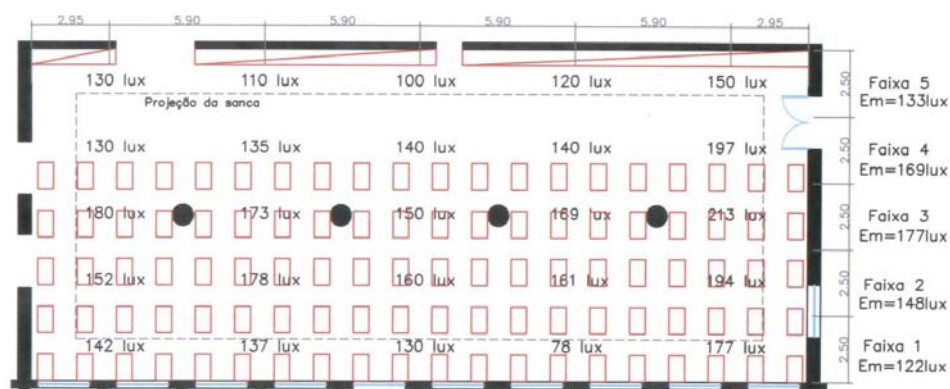


Figura 2 - Sala de leitura Herculano de Freitas. s/ escala. Fonte: Bahiense et al., 2003, p.98.

Segundo a ABNT-NBR 5413 (1991), observou-se que todos os valores medidos mostraram-se insuficientes à realização das atividades de leitura, pesquisa e de circulação, no caso do acervo, causando desconforto visual aos usuários e desvalorização do edifício.

4.3 Consumo e Demanda

A tarifação contratada era horozonal, do tipo verde, pública, subgrupo AS. Analisando-se as contas de energia, verificou-se que a demanda mensal contratada era de 200kW e a máxima utilizada no período estudado foi de 88kW.

O consumo médio mensal da edificação do período compreendido entre agosto e outubro/2002, considerando-se todos os equipamentos, era de 23.458kWh e o consumo desagregado referente à iluminação artificial era de 19.565kWh. Desta forma, o sistema de iluminação artificial representou cerca de 83,4% do consumo total do edifício. A potência instalada era de 180,3kW, sendo observados valores muito baixos de densidade de potência da iluminação em algumas áreas refletindo a precariedade do sistema e, por outro lado, valores bastante elevados de densidade de potência, os quais não refletiam a qualidade da iluminação. A média da edificação era de 21,2W/m².

4.4 Diagnóstico Energético

Após as análises realizadas, foram identificadas as seguintes questões: contratação inadequada da demanda; iluminação artificial representando o principal consumo de energia elétrica do edifício; desuniformidade, ofuscamento e contraste excessivo nos ambientes; níveis de iluminância inadequados à realização das diversas atividades; sistema de iluminação artificial ineficiente e manutenção precária; abundância da iluminação natural com sub-aproveitamento da mesma.

5. PROJETO DE RETROFIT

5.1 Propostas de Retrofit Estudadas

5.1.1 Substituição de Lâmpadas e Reatores

Esta proposta implicou na substituição das lâmpadas de 40W por 32W e dos reatores eletromagnéticos por eletrônicos, sendo mantidas as luminárias e sua distribuição nos ambientes. Poderia ser viabilizada através da aquisição adequada destes equipamentos e sua substituição dar-se-ia por meio da manutenção predial corretiva. Observa-se que esta proposição não atingiria os níveis de iluminância necessários às atividades de leitura e pesquisa.

O consumo mensal de energia referente à iluminação artificial no sistema onde predominavam as lâmpadas de 40W era de 19.565kWh e, após a implantação desta proposta, passaria a ser de 19.067kWh, representando uma economia mensal de 2,5%. A densidade média de potência instalada, anteriormente de 21,2W/m², passaria para 19,3W/m², permanecendo elevada em certos ambientes como na sala de leitura Herculano de Freitas (27,2W/m²).

5.1.2 Novo Projeto Luminotécnico

A elaboração do projeto baseou-se nas recomendações da ABNT-NBR 5413 (1991) e teve como diretrizes a redução no consumo de energia elétrica, a efficientização do sistema de iluminação artificial, o conforto visual dos usuários através da adequação dos níveis de iluminância necessários às atividades, a uniformidade da luz, a eliminação das áreas de penumbra e a valorização do edifício.

Para o acervo, áreas técnicas, administrativas e cabines de pesquisa foi adotado o nível de iluminância de 300lux. No acervo foram utilizadas luminárias de sobrepor sem aletas, com refletores de alumínio, com uma lâmpada fluorescente de 32W, pois os corredores entre as estantes tinham 0,80m, o pé-direito era de 2,40m não havendo computadores nem usuários com permanência prolongada. Para as demais áreas citadas foram instaladas luminárias do mesmo tipo, com aletas, e 2 lâmpadas fluorescentes de 32W. Nos *halls* principais e no saguão de entrada foram utilizadas lâmpadas de 32W nas sancas, *spots* com lâmpadas PAR 30 e luminárias sem aletas com 2 lâmpadas de 32W. Em todos os locais foram instalados reatores eletrônicos. Nos *halls* secundários, corredores, escadas e ambientes de serviços foram utilizados *spots* com lâmpadas fluorescentes compactas de 20W.

Para a sala de leitura Herculano de Freitas adotou-se o nível de iluminância de 300lux para iluminação geral e de 200lux para a localizada, totalizando 500lux no plano de trabalho. As propostas estudadas tiveram como premissa o rebaixamento das luminárias a fim de vencer o pé-direito de 6,80m, melhorar o rendimento do sistema e facilitar a manutenção do conjunto, dispensando o uso de andaimes.

Pela iluminação direta, procurou-se reproduzir o projeto original do ambiente por meio de luminárias cilíndricas de alumínio anodizado com controle anti-ofuscamento, distribuídas em 2 linhas longitudinais com 5 luminárias em cada uma. Foram testadas lâmpadas halógenas palito de 300W (Figura 3 - simulação 1) e de vapor metálico de 150W HQI (Figura 3 - simulação 2). Para a iluminação localizada foram instaladas lâmpadas fluorescentes de 32W nas sancas, luminárias de mesa com lâmpadas fluorescentes compactas de 13W, *spots* embutidos no forro ao redor de cada pilar com lâmpadas halógenas refletoras de 50W e luminárias sobrepostas nas estantes com lâmpadas fluorescentes de 16W.



Figura 3 - Sala de leitura Herculano de Freitas: simulações 1 e 2, respectivamente. Fonte: Bahiense et al., 2003, p.116-17.



Figura 4 - Sala de leitura Herculano de Freitas: simulações 3 e 4, respectivamente. Fonte: Bahiense et al., 2003, p.118-19.

Nas propostas onde se adotou a iluminação indireta, foram usadas luminárias tipo calha em aço tratado com pintura branca e testadas duas opções de distribuição, sendo uma no sentido transversal da sala, entre os pilares, composta por 5 linhas com 5 luminárias de 3 lâmpadas de 32W (Figura 4 - simulação 3) e outra no sentido longitudinal do ambiente, tendo 2 linhas contínuas de luminárias com 2 lâmpadas de 32W (Figura 4 - simulação 4). Nestes casos, não foram utilizadas as sancas.

Comparando-se os resultados das simulações em termos de eficiência do sistema, índice de reprodução de cor, níveis de iluminância, uniformidade e estética, optou-se pela simulação 4 (Figura 4), onde foram atingidos os maiores ganhos. Nesta opção, a iluminação indireta utilizou o teto e a faixa

superior das paredes acima das bandeiras como rebatedores, maximizando a uniformidade da luz no ambiente. Além disso, percebeu-se a menor interferência visual na estética da sala.

Os níveis de iluminância geral obtidos para esta proposta foram: 387lux no plano de trabalho, 195lux no piso e 275lux nas estantes, sendo que a iluminação nas mesas e estantes seria incrementada pelo acionamento do sistema localizado. A densidade média de potência da iluminação deste ambiente foi de 17W/m², diminuindo em 47% em relação à condição existente na época da pesquisa (32,22W/m²).

Com a definição do projeto luminotécnico para todas as áreas da Biblioteca, as luminárias foram distribuídas em planta de acordo com as características físicas dos ambientes e, na maioria dos casos, evidenciou-se a necessidade de readequação das instalações elétricas em relação à localização dos pontos de luz e interruptores. O consumo mensal de energia referente ao novo sistema de iluminação atingiu o valor de 14.343kWh, representando uma economia mensal de 26,7% em relação ao sistema de iluminação original do edifício que consumia 19.565kWh. O valor médio da densidade de potência no edifício para esta proposta seria de 14W/m².

5.1.3 Novo Projeto Luminotécnico Integrado à Iluminação Natural

Esta proposta procurou integrar, de maneira simplificada, o projeto luminotécnico proposto no item anterior com a iluminação natural presente nos ambientes, de modo que o sistema artificial fosse acionado apenas onde a luz natural não fosse suficiente à realização das tarefas.

Visando controlar a luminosidade excessiva nas mesas junto das aberturas, adotou-se como estratégia a aplicação de persianas com tecidos de diferentes espessuras no interior dos vãos. Na sala de leitura, para as janelas de corpo alto, foi proposta a instalação de persianas com tecido mais espesso até a altura do plano de trabalho e mais leve acima deste. As bandeiras permaneceram desobstruídas para propiciar maior alcance da luz natural no fundo da sala. Para as áreas administrativas e cabines de pesquisa, apesar das janelas não possuírem bandeiras, empregou-se o mesmo recurso. Em função das limitações do programa computacional usado para estas simulações, utilizaram-se diferentes fatores de transmissão de luz dos vidros com o intuito de representar as persianas.

Analisando-se as simulações, observou-se a redução significativa dos níveis de iluminância próximo das aberturas, bem como do ofuscamento e contraste. Nas faixas com mesas verificou-se que os níveis da luz natural para o verão e equinócio foram satisfatórios à realização das tarefas. Para o inverno, nas mesas localizadas na faixa 3, mostrou-se necessário o acionamento do sistema localizado e, na faixa 4, foi preciso usar tanto a iluminação geral quanto a localizada em vários horários e épocas do ano. Apenas na área das estantes (faixa 5) foi necessário o uso constante do sistema artificial. Para as áreas administrativas e cabines de pesquisa foram obtidos resultados similares.

Observou-se, portanto, que o número de horas de acionamento do sistema artificial nas áreas simuladas poderia ser diminuído sensivelmente, resultando num consumo mensal estimado de 9.632kWh e refletindo numa economia mensal de 32,8% em relação ao projeto luminotécnico proposto sem o aproveitamento da luz natural, onde o consumo mensal de energia foi estimado em 14.343kWh. Em relação ao sistema original, onde o consumo da iluminação artificial era de 19.565kWh, a economia possível representou 50,8%.

5.2 Estratégia Escolhida

A demanda de energia contratada para a Biblioteca poderia ser reduzida em 50%, representando a primeira estratégia a ser implantada, sem custo inicial. A substituição das lâmpadas fluorescentes de 40W por outras de 32W e dos reatores eletromagnéticos por eletrônicos poderia ser feita progressivamente através da manutenção predial e, desta forma, estas duas estratégias poderiam ser implantadas sem investimentos, representando uma economia de energia imediata. A instalação do novo projeto luminotécnico implicaria em custos iniciais, mas acarretaria maior economia de energia, redução dos custos operacionais e ganhos qualitativos para a edificação e seus usuários, principalmente se integrado à luz natural presente nos ambientes.

Analisando-se todas as propostas elaboradas, foi considerada como a mais favorável e benéfica para a edificação, em termos qualitativos e quantitativos, a estratégia que aliou a recontração da demanda de energia e o sistema artificial proposto integrado à iluminação natural. O custo de implantação desta

estratégia foi estimado em R\$150.647,07 (janeiro/2003) relativo ao material, uma vez que poderia ser utilizada a mão-de-obra da Prefeitura. Foram computados os valores que poderiam ser obtidos com a venda dos equipamentos retirados. Assim, a economia de energia anual estimada para a época foi de R\$36.514,08, calculada em função da redução no consumo. Verificou-se um período de retorno do investimento de 4 anos e 1 mês e, em se tratando de um patrimônio público, foi considerado viável.

6. IMPLANTAÇÃO DO PROJETO DE EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA

Através da Resolução nº 492 (BRASIL, 2002), a qual estabelece que as concessionárias devem prever a “*aplicação anual de, no mínimo, 0,50% da Receita Operacional Líquida*” em projetos de eficiência energética, foi firmado um convênio, em dezembro/2003, entre a Secretaria Municipal de Cultura de São Paulo e a AES Eletropaulo, para implantar o Projeto de Eficientização Energética do edifício.

As diretrizes e propostas desenvolvidas na monografia citada serviram de base para a implantação do projeto, sendo que a empresa que executou a obra fez adaptações em função do montante orçamentário disponível. Na sala de leitura Herculano de Freitas adotou-se uma solução baseada na simulação 3 (Figura 4), contudo optou-se pela iluminação direta e pelo maior número de linhas com luminárias. Foram instaladas luminárias tipo calha, com refletores e aletas, rebaixadas a 4,50m de altura do piso, dispostas transversalmente à sala em 10 linhas com 7 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes de 32W. Não foi instalado o sistema localizado nem foram utilizadas medidas para controlar o excesso de luz natural. Nos demais ambientes do edifício foram substituídas todas as lâmpadas, luminárias e reatores por equipamentos eficientes, mas os pontos de luz e interruptores não foram alterados. A obra foi iniciada em abril/2004 e concluída em maio/2004.

O custo direto da obra foi de R\$250.000,00 (dezembro/2003) e, em relação à economia de energia anual, verificou-se o período de 4,8 anos para o retorno do investimento (AES ELETROPAULO; ECOLUZ, 2004). Ressalta-se que a recontração da demanda e a integração com a luz natural não foram consideradas e o tempo de retorno do investimento foi maior que o estimado pela monografia.

7. RESULTADOS DA IMPLANTAÇÃO

O monitoramento dos resultados foi feito no mês de junho/2004 pela empresa que executou a obra. Foram mantidos os regimes de funcionamento de todos os setores da Biblioteca e verificada a redução de 60,5% nos valores da potência total instalada e do consumo anual da edificação, respectivamente de 180,3kW para 71,2kW e de 332,2MWh para 131,2MWh (AES ELETROPAULO; ECOLUZ, 2004).

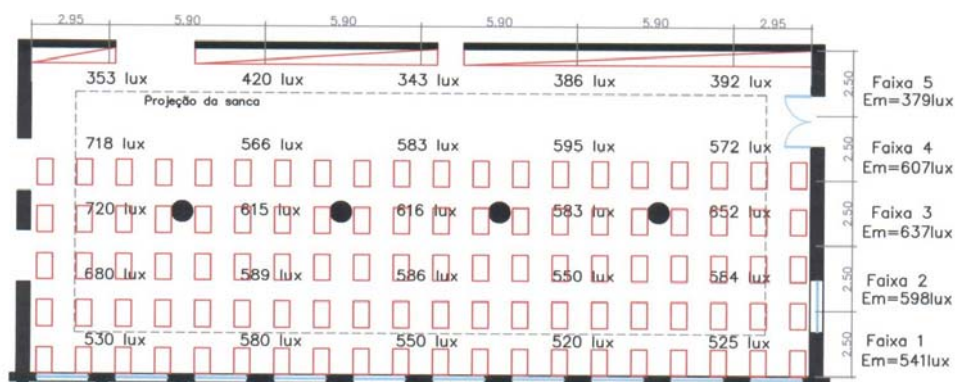


Figura 5 - Sala de leitura Herculano de Freitas. Planta s/ escala.

Foram atingidos os níveis de iluminância recomendados pela ABNT-NBR 5413 (1991) nos diversos ambientes, refletindo o conforto visual, a segurança dos usuários, a valorização do edifício e representando ganhos da ordem de 48% (AES ELETROPAULO; ECOLUZ, 2004).

A medição dos níveis de iluminância foi realizada na sala de leitura Herculano de Freitas e no andar tipo do acervo em 22 de fevereiro de 2005 às 20:00 horas, cujos resultados constam na planta representada pela Figura 5. A iluminância média do ambiente foi de 552lux. A Figura 6 ilustra as melhorias.



Figura 6 - Sala de leitura antes e depois da implantação.

As medições no acervo revelaram um ambiente adequado à pesquisa dos livros, sendo que os níveis de iluminância máximos verificados no plano horizontal e vertical foram respectivamente de 498 e 495lux na altura de 1,75m, os valores mínimos atingidos foram de 310 e 302lux a 0,18m do piso e os valores médios foram de 374 e 300lux, respectivamente. A Figura 7 ilustra as alterações no sistema artificial.



Figura 7 - Acervo antes e depois da implantação.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer de todo o processo relatado, seja durante o desenvolvimento da pesquisa, seja na fase de implantação da obra, a busca pela eficiência energética e pelo conforto visual dos usuários foi permanente. As diretrizes gerais estabelecidas pela monografia foram aplicadas, mas adaptações foram necessárias na fase de implantação em virtude da disponibilidade orçamentária. Por isso, não houve reestruturação geral das instalações elétricas, mas a substituição de seus componentes por equipamentos eficientes e, apenas na sala de leitura Herculano de Freitas, foi efetuada a reformulação do sistema de iluminação artificial. Além disso, a luz natural não foi otimizada nos ambientes nem controlada em outros, sendo que as proposições constantes da pesquisa não foram maximizadas. Apesar disso, a verificação dos dados reais na fase pós-implantação evidenciou os ganhos na qualidade da iluminação, no conforto visual e na redução do consumo de energia elétrica.

A possibilidade de implantação de uma pesquisa acadêmica demonstrou a importância da divulgação da produção universitária, tanto no âmbito da própria Universidade quanto externamente para os setores da sociedade interessados em sua produção.

Durante o desenrolar da pesquisa e dentro da metodologia adotada, o conhecimento e a compreensão detalhada do objeto de estudo foram imprescindíveis para identificar deficiências e propor soluções. Para estas, as simulações computacionais mostraram-se instrumentos eficazes no desenvolvimento dos projetos. Apesar disso, é essencial a base conceitual e técnica do profissional envolvido para conceber propostas, avaliar e comparar os resultados obtidos.

Verificou-se a importância do *retrofit* como um instrumento para efficientizar sistemas de iluminação artificial obsoletos, sendo que, neste caso, buscou-se atrelá-lo à necessidade de melhoria das condições de conforto visual dos usuários. Assim, evidenciaram-se os benefícios de instalar um sistema eficiente de iluminação para reduzir o consumo de energia, adequar os níveis de iluminância recomendados e valorizar o edifício. Observou-se, ainda, que são ações essenciais para o funcionamento adequado da edificação, sobretudo nas de uso público, devido à sua função social, onde pode ser demonstrada e disseminada a importância da aplicação racional dos recursos energéticos e financeiros à sociedade.

9. REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1985). *NBR 5382. Verificação da iluminância de interiores. Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT. 6p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1991). *NBR 5413. Iluminação de Interiores. Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT. 13p.
- AES ELETROPAULO; ECOLUZ S.A. (2004). *Plano de monitoramento e verificação dos resultados: Biblioteca Mário de Andrade*. São Paulo: AES/Ecoluz, 14p.
- AUTODESK (1996). *Lightscape 3.2*. San Francisco, Calif. Lightscape Technologies Ind.
- AUTODESK (1996). *3D Studio VIZ*. Tuscarawas, Ohio. Lightscape Technologies Ind.
- BAHIENSE, G.; CARDOSO, C.; FERRARESI, M.; PINTO, S. R.; SATO, A. M. (2003). *Retrofit da iluminação artificial na Biblioteca Mário de Andrade: a luz e o espaço de ler*. Monografia. (Curso de Especialização em Conforto Ambiental e Eficiência Energética). São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP. 149p.
- BRASIL (2002). AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Resolução nº 492, de 3 de setembro de 2002*. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca.cfm?>>. Acesso em 20 de junho de 2003.
- ENGLAND. DEPARTMENT OF THE BUILT ENVIRONMENT (1991). *Daylight - Versão 4.1*. Cambridge: Anglia Polytechnic.
- GHISI, E. (1997). *Desenvolvimento de uma metodologia de retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina*. Dissertação (Mestrado. Engenharia Civil). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 246p.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. (1997). *Eficiência energética na Arquitetura*. São Paulo: PW Editores. 192p.
- LITHONIA LIGHTING (1999). *Visual 2.0*. New York. (Distribuído no Brasil pela Lustres Projeto).
- MAGALHÃES, L. C. (2001). *Orientações gerais para conservação de energia elétrica em prédios públicos*. Brasília: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL. 53p.
- PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (1998). *Manual de conservação de energia elétrica em prédios públicos e comerciais*. Rio de Janeiro: Eletrobrás. 20p.
- ROMÉRO, M. A. (1997). *Arquitetura, comportamento e energia*. Tese (Livre-docência). Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
- TEIXEIRA, W. (2004). *Softwares para iluminação: passaporte de entrada para novos mercados profissionais*. São Paulo, *Revista Lume Arquitetura*, nº 7, p.76-85, abr./mai. 2004.

10. AGRADECIMENTOS

Aos professores do Curso de Especialização em Conforto Ambiental e Conservação de Energia (CECACE II), Fundação para a Pesquisa Ambiental (FUPAM) da FAU/USP, pela preciosa orientação na elaboração da monografia, à Diretoria da Biblioteca Mário de Andrade pela oportunidade e apoio no desenvolvimento da pesquisa e à AES Eletropaulo por acreditar na potencialidade de um trabalho acadêmico.