

VERÔNICA ESPINOSA PINTOS

Aplicação dos Parâmetros de Eficiência Energética
em Prédio Público de Ensino – Estudo de Caso.

São Paulo
2015

VERÔNICA ESPINOSA PINTOS

Aplicação dos Parâmetros de Eficiência Energética
em Prédio Público de Ensino – Estudo de Caso.

Monografia apresentada ao Programa de
Educação Continuada da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista
em Energias Renováveis, Geração
Distribuída e Eficiência Energética

Tema: Eficiência Energética
Orientador: Prof. Msc. Eduardo Yamada

São Paulo
2015

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu Pai e Criador, por me permitir viver e desenvolver minhas habilidades, que eu possa colaborar positivamente nesta existência, usando de forma eficiente todos os dons que Ele me concedeu.

A Jesus Cristo, exemplo maior de amor e disciplina, de coragem em seguir em frente, apesar das dificuldades.

Ao meu pai, Altemar, falecido em 2012, por sempre me motivar na busca pela excelência, por seu amor e por sua dedicação incondicionais.

À minha mãe, Ada, por suas orações e intercessões.

À minha amada filha, Sarah, por seu apoio e carinho; por trazer leveza aos meus dias e por ser minha motivação mais forte para continuar meu desenvolvimento profissional e intelectual.

À minha amiga Dr.^a Gláucia Berreta, por seus cuidados médicos e conselhos que me fortaleceram para seguir em frente.

Ao meu ex-diretor, Prof. Dr. Renato de Figueiredo Jardim, por seu apoio na solicitação da bolsa de estudos que possibilitou meu acesso a esta formação.

Ao Prof. Dr. Adalberto Fazzio, ex-diretor do Instituto de Física, por sua aprovação e apoio no desenvolvimento deste estudo de caso, permitindo-me acessar e estudar os ambientes dessa Unidade de Ensino.

Aos colegas da Diretoria de Ensino do Instituto de Física da USP, Ademir e Alessandro, e ao Prof. Dr. Valmir Chitta, por sua colaboração no fornecimento dos dados necessários ao desenvolvimento deste estudo de caso.

Aos meus colegas e companheiros desta jornada, em especial ao Denis, Thiago e Newton.

Ao Prof. Dr. José Roberto Simões, por sua liderança e apoio, por seu comprometimento com todos os pós-graduandos, sempre se fazendo presente aos nossos questionamentos, orientando-nos e trabalhando em prol da formação de um curso de excelência.

A todos os professores que dedicaram uma parte muito especial de seu tempo, dividindo conosco sua experiência e seu conhecimento, em especial ao meu orientador, Prof. Msc. Eduardo Yamada e ao Prof. Dr. Lineu Belico, por sua publicação que muito colaborou no desenvolvimento do tema de minha monografia.

Aos funcionários do PECE, por sua atenção e desprendimento, prestando-nos um serviço de excelência e, em especial, ao querido bedel Carlos, que sempre nos atendeu com dedicação, amizade e boa vontade, mesmo quando as aulas se estenderam além do horário previsto.

"Se, na verdade, não estou no mundo para simplesmente a ele me adaptar, mas para transformá-lo; se não é possível mudá-lo sem um certo sonho ou projeto de mundo, devo usar toda possibilidade que tenha para não apenas falar de minha utopia, mas participar de práticas com ela coerentes."

Paulo Freire

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE IMAGENS.....	9
LISTA DE GRAFICOS.....	10
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. Uso dos Brises-Soleil	28
2.2. Exploração da Iluminação Natural e Complementação de Iluminação Artificial ..	31
2.3. Condicionamento Térmico e Ventilação	33
3. CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	34
4. METODOLOGIA.....	39
4.1. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	39
4.1.1. Seleção da Iluminância	41
4.1.2. Determinação do índice do Local	43
4.1.3. Determinação do Coeficiente de Utilização	43
4.1.4. Determinação do Fator de Depreciação.....	44
4.1.5. Fluxo Luminoso Total e Número de Luminárias	45
4.2. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	48
4.2.1. Levantamento de cargas térmicas – Ganhos de Calor.....	49
4.2.1.1. Pessoas – Foram considerados 63W de calor sensível e 52W de calor	49
4.2.1.2. Infiltração – A Sala SL14 foi considerada no cálculo como caixilho	50
4.2.1.3. Ganho de Calor pelos Equipamentos.....	51
4.2.1.4. Ganho de Calor pela Iluminação	51
4.2.1.5. Ganho de Calor - Envoltória	52
4.2.1.5.1. Levantamento das características construtivas dos ambientes:	52
4.2.1.5.2. Determinação dos coeficientes de transmissão (U) dos fechamentos	53
4.2.1.5.3. Determinação dos Diferencias de Temperatura Total Equivalente	53
4.2.1.5.4. Roteiro de cálculo adotado (Manual da Trane)	54
4.3. AVALIAÇÃO DA ENVOLTÓRIA	56
5. DISCUSSÃO	59
5.1. Iluminação	59
5.2. Sistema de Ar Condicionado	59

5.3. Envoltória	59
5.4. Investimentos	60
6. CONCLUSÃO.....	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	68

RESUMO

O objetivo pretendido no desenvolvimento desta monografia é o de estudar um edifício público onde são desenvolvidas atividades didáticas, com a finalidade de realizar um levantamento das instalações atuais e propor alternativas de economia de energia por meio da utilização de sistemas e materiais mais eficientes e com valor de investimento menos expressivo.

As referências bibliográficas inseridas no contexto deste trabalho, buscam reforçar a importância do desenvolvimento de soluções alinhadas com os perfis e hábitos de consumo, a fim de atender às atuais demandas do setor, procurando aliar desempenho, eficiência e racionalidade no uso da energia elétrica.

Inicialmente foi levantado o consumo provável de energia, com base nas características atuais deste edifício restritas ao sistema de iluminação, refrigeração e envoltória. A partir deste levantamento inicial, aplicou-se ferramentas desenvolvidas ao longo do curso de especialização, para análise da carga térmica e do sistema de iluminação.

A partir dos resultados obtidos nos cálculos de carga térmica e luminotécnica destes sistemas, complementados pela análise da envoltória e possibilidades de ganho de eficiência também neste item, foram apresentadas as soluções e investimentos necessários para a adequação dos ambientes estudados.

Durante o desenvolvimento das soluções, procurou-se atender os parâmetros de conforto e necessidades do cliente, baseando-se em diagnósticos obtidos por meio de pesquisas direcionadas a alunos e docentes e também, na disponibilidade de recursos financeiros, potencializando a viabilidade da aplicação das medidas propostas no curto prazo.

Palavras-Chave: Eficiência energética; carga térmica; iluminação

ABSTRACT

The intended goal in developing this thesis was to study a public building, where educational activities are developed, in order to carry out a survey of existing facilities and propose energy-saving alternatives through the use of more efficient systems and materials with less significant investment values.

The inserted references in the context of this study, are seeking to reinforce the importance of developing solutions in line with the profiles and consumption habits, in order to meet the current demands of the sector, looking to combine performance, efficiency and rational use of electricity.

Initially was established the likely consumption of energy, based on current characteristics of this building, restricted to the lighting system, cooling and envelopment. From this initial survey, were applied tools, developed over the course of expertise, to analyze the thermal load and the lighting system.

From the results obtained in the thermal load calculations and technical lighting of these systems, complemented by analysis of envelope and efficiency gain possibilities, also in this topic, solutions and necessary investments for the adjustment of studied sites were presented.

During the development of solutions, we tried to meet the parameters of comfort and customer needs, based on diagnosis obtained through research, aimed at students and professors and also the availability of financial resources, increasing the feasibility of implementing the proposed measures in a short period of time.

Keywords: Energy efficiency; Thermal load; lighting

LISTA DE IMAGENS

Foto 2.1. – *FONTE: Wikipédia - Edifício Gustavo Capanema (1937)- MEC/RJ.*

Foto 3.1. – Ala I, à esquerda, construída em 1991 e Anexo I, construído em 2001.

Foto 3.2. – Ala II, Construída em 1991, paisagismo do entorno.

Foto 3.3.– Sala com distribuição de carteiras paralelas à janela (esq.) e perpendiculares (dir.).

Foto 3.4. – Brises-Soleil, instalados na face NE da fachada.

Foto 4.1. – Fotos à esq. Fachada NE; à dir. Fachada SO.

Foto 4.2. – Implantação da Edificação; localização das salas de aula.

Foto 4.3. – Acima, à esquerda, SL 14; abaixo, SL 02; à direita SL 01

Foto 5.1. – Passagem de Radiação pelo Brise-Soleil (NE, Horário: 10h00).

Foto 5.2. – A Ausência de proteção passiva ocasiona radiação direta sobre as paredes – SO.

Fig. 3.1. – Planta Baixa das Alas II e Central, 1.º Pavimento

Fig. 4.1. – Esquema da iluminação das salas de aula

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 2.1. – *FONTE: BEN 2013, Elaborado por EPE*

Gráfico 2.2. – Energia Gerada por Fonte (2012)

Gráfico 2.3. – *FONTE: BEN, 2014(Ano Base 2013)*

Gráfico 2.4. – *FONTE: BEN, 2014 – Todas as Fontes, inclusive eletricidade*

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. – Níveis de Iluminação Recomendados. FONTE: NB – 57 (ABNT, 1992c) - Adaptado

Tabela 4.1. – Dimensões dos ambientes e sistema de iluminação atual

Tabela 4.2. – Iluminância para cada grupo de tarefas visuais – Ref.: Tabela 1 da HBR 5413/92

Tabela 4.3. – Ref.: Tabela 2 da HBR 5413/92

Tabela 4.4. – Fonte: CREDER, Hélio – Instalações Elétricas p.166

Tabela 4.5. – Coeficiente de utilização para luminária TBS (Referência: Catálogo OSRAM)

Tabela 4.6. – Fator de Depreciação em função da manutenção e limpeza

Tabela 4.7. – Resultados

Tabela 4.8. – Comparaçao da Potênciia Instalada Atual com a demanda necessária calculada

Tabela 4.9. – Consumo de Energia Elétrica Estimado, Atual e Após Retrofit

Tabela 4.10. – Quadro Resumo de Ganho de Calor

Tabela 6.1. – Custo de Investimento; Fonte: Boletim CPOS Março/2015

Tabela 6.2. – Cargas Estimadas Pós-Retrofit

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AQUA – Alta Qualidade Ambiental

BEN – Balanço Energético Nacional

BTU – British Thermal Unit

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia

CPOS – Companhia Paulista de Obras e Serviços

ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EqDt – Diferenciais de Temperatura Total Equivalente

InMetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LED – Light Emitting Diode

NBR – Norma Brasileira

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PNEF – Plano Nacional de Eficiência Energética

Procel – Programa Nacional de Eficiência Energética

PURE-USP – Programa de Uso Racional de Energia da Universidade de São Paulo

SISGEN – Sistema de Gerenciamento de Energia Elétrica

TR – Tonelada de Refrigeração

W - Watt

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento deste Estudo de Caso, que serve como tema da presente monografia, tem a finalidade de atender a um objetivo específico que é o de reavaliar a envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar de um edifício público, destinado às atividades de ensino e atividades meio; verificar a eficiência destas instalações e sistemas e apresentar um roteiro de soluções que levem à redução do consumo de energia.

Dentro deste objetivo específico, concorrem diversos objetivos secundários, destacados dentro da finalidade do referido estudo, ou seja, para a avaliação da eficiência, será necessário retratar a situação atual da edificação, discorrendo sobre todos os aspectos de sua constituição e determinando empiricamente seu consumo atual. Posteriormente, com base nas ferramentas adquiridas em sala de aula e naquelas pesquisadas ao longo do desenvolvimento do tema, serão propostas soluções que levem ao aumento de eficiência da edificação.

Considerando que as soluções que serão propostas, levam ao investimento de recursos financeiros para a sua completa aplicação, será necessário, posteriormente, a verificação pelos gestores do processo quanto à sua viabilidade sob o ponto de vista de alocação de recursos orçamentários destinados às alíneas de manutenção predial.

Como trata-se de *retrofit*, ou seja, revitalizar o edifício existente, propondo novas tecnologias; porém, sem a realização de grandes intervenções ou restaurações, o estudo procurará manter e otimizar a atual estrutura, levando em conta também os critérios de economicidade, que possuem fundamental importância quando se trata de *retrofit* de instalações públicas, como é o caso, e a constante reavaliação de medidas adotadas em virtude de uma determinada configuração, por exemplo: se a iluminância de um ambiente é determinada a partir da verificação de que um ambiente possui teto branco, paredes claras e piso escuro; a alteração de um destes parâmetros, concorrerá para a alteração do primeiro, tornando-o mais ou menos eficiente e colaborando em última instância para a manutenção dos parâmetros de eficiência energética, sem comprometer a qualidade da edificação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao longo deste trabalho acadêmico pretende-se analisar a eficiência energética de um edifício do setor público, dedicado ao desenvolvimento de atividades de ensino. Para tanto, faz-se necessário compreender alguns conceitos e discussões base para aplicação e desenvolvimento da temática proposta:

“Eficiência energética significa consumir menos energia e de forma mais produtiva para produzir o mesmo serviço, ou maior, com a mesma qualidade, ou melhor. A eficiência diz respeito às tecnologias mais inteligentes que fazem mais com menos – e não privação, desconforto ou decréscimo.” (LOVINS, 2013).

Deste conceito, entende-se que a energia deve proporcionar os recursos necessários e suficientes para atender às necessidades dos indivíduos, relacionadas ao seu bem estar; desenvolvimento de tarefas; transporte e geração de bens e produtos. Porém, este consumo pode e deve ser realizado de maneira racional, fazendo-se uso de ferramentas de gestão; novas tecnologias; análises técnicas coerentes; programas de conscientização e etc.

“A energia, como instrumento que permite dar satisfação às necessidades criadas pelo desenvolvimento socioeconômico, desempenha um papel fundamental nas economias e por isso deve ser encarada como um bem a ser utilizado de forma eficiente e racional, integrando-se na perspectiva abrangente da utilização racional dos recursos.” (FERREIRA e FERREIRA, 1994)

As soluções para o uso racional de energia, em ambientes construídos, passam pela avaliação de parâmetros atuais de consumo destes ambientes, dentre eles os hábitos dos usuários do edifício; o modelo construtivo; a finalidade de uso e a gestão, sob o ponto de vista da manutenção e investimentos viáveis de acordo com os recursos financeiros, legais, sociais e técnicos disponíveis.

“No contexto da eficiência energética, a caracterização dos usos finais de determinado tipo de consumidor tem grande importância, uma vez que permitirá uma análise aprofundada de diversos aspectos importantes para o estabelecimento de políticas e processos voltados para a melhor utilização de energia, tais como os tipos de tecnologias e os hábitos de consumo.” (ROMERO; REIS, 2012).

O ideal seria o desenvolvimento de edificações sustentáveis a partir do projeto básico; porém, há uma série de edificações de uso público, comercial, residencial, etc., que ainda serão utilizadas por muitos anos, cujos critérios de performance

devem ser continuamente revistos e melhorados. Os edifícios utilizam energia para operar e para ampliar sua infraestrutura, de maneira que a redução da energia operacional é tão importante quanto a da energia incorporada. A reforma das edificações, cuja deterioração ao longo do tempo também representa redução de eficiência e aumento destes dispêndios também deve ser incorporada ao programa de gestão das edificações.

A eletricidade é o segundo tipo de energia mais consumida, por fonte, no mundo.

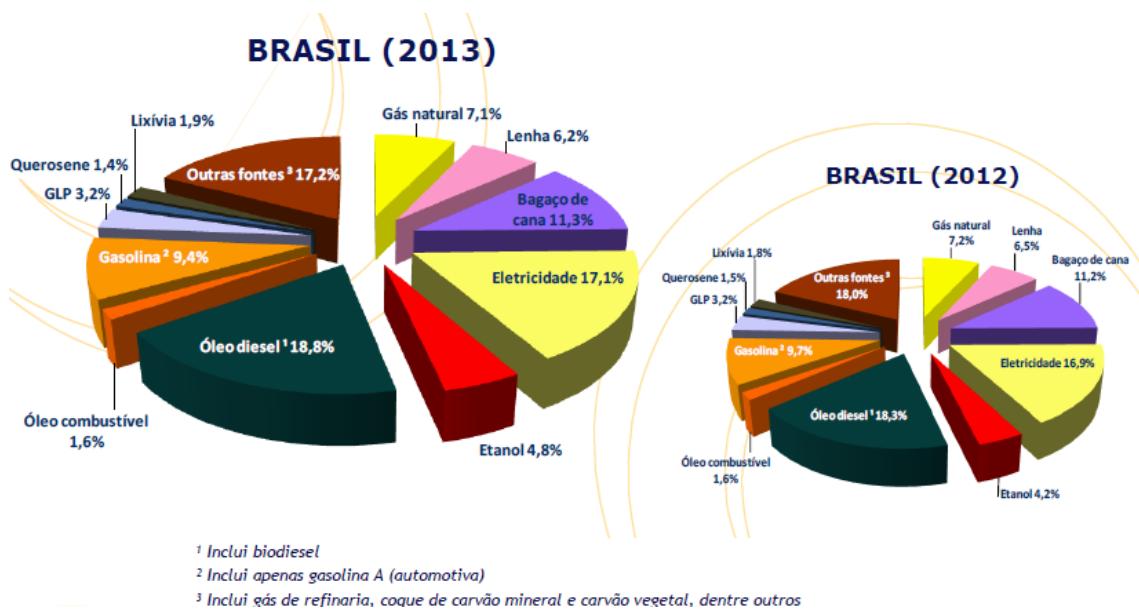


Gráfico 2.1. - FONTE: BEN 2013, Elaborado por EPE

A oferta de energia depende de investimentos no setor elétrico que via de regra são extremamente onerosos e acarretam impactos significativos ao meio ambiente.

A disponibilidade da energia elétrica no Brasil é proveniente basicamente da hidroeletricidade, cujo volume de geração é sazonal e nos últimos anos vem sendo complementado por parcelas cada vez maiores de energia termoelétrica, mais onerosa e poluente:

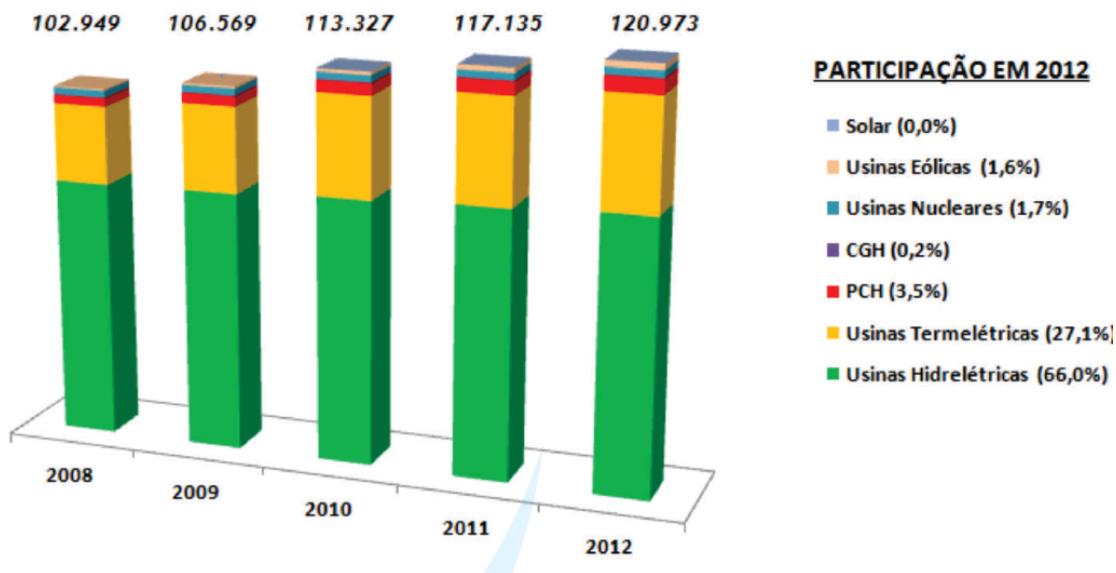


Gráfico 2.2. – Energia Gerada por Fonte (2012)

A complementação da oferta interna de energia por meio da termelétrica, aumenta significativamente as perdas no sistema; cerca de 18% de 2012 até 2014 (BEN:2013), além de ampliar as emissões de efeito estufa, justificando o estudo de medidas em todas as áreas, a fim de ampliar a oferta de energia a partir de outras fontes e gerir de maneira mais racional a eletricidade.

O custo final de energia elétrica para o consumidor vem subindo substancialmente nos últimos anos, devido à escassez promovida pela redução da oferta da hidroeletricidade e aumento da participação da termoelectricidade, energia de geração mais onerosa que a anterior.

A geração de energia térmica no Brasil aumentou 11,1 por cento em fevereiro (2014) ante o mesmo mês do ano passado, para 14.223 megawatts (MW) médios, num momento em que as usinas termelétricas estão fortemente acionadas para compensar a queda no nível dos reservatórios das hidrelétricas do país. (CCEE, 2014).

O consumo de energia elétrica em edifícios, representado substancialmente pelos itens iluminação, condicionamento de ar, funcionamento de equipamentos, é responsável por pelo menos 40% do total da energia utilizada na maioria dos países. (MORI, 2012). No Brasil, 91,8% da energia utilizada no setor público é proveniente da eletricidade (BEN 2014 – Ano base 2013), sendo que o setor público responde por aproximadamente 7,6% deste consumo, assim distribuído:

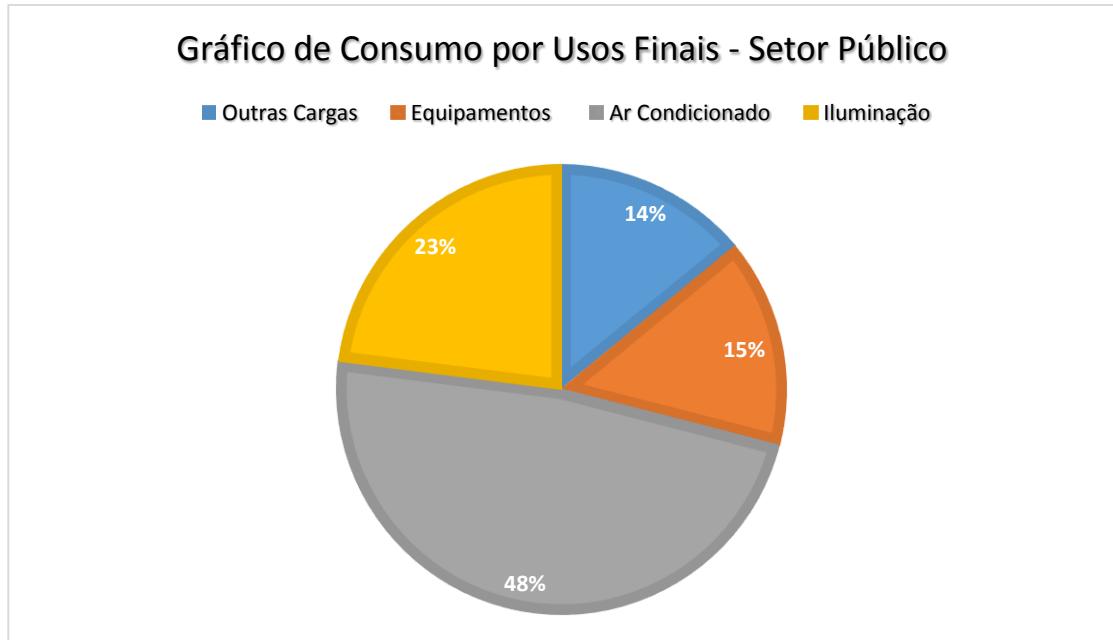


Gráfico 2.3. - FONTE: BEN, 2014(Ano Base 2013)

Estima-se que todo o custo operacional de um edifício ao longo de sua vida supere o custo total de construção do mesmo, sendo que a energia elétrica é um dos principais custos operacionais. Por isso a importância de investimentos em produtos tecnologicamente mais eficientes e modernos ou mudanças arquitetônicas que visem conservação energética, que se pagarão ao longo dos anos com a economia gerada por eles, aliada com ações de conscientização dos usuários (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997).

O uso da energia em uma edificação depende de sua envoltória, daquilo que existe dentro desta envoltória e do modo como o que existe dentro da envoltória é utilizado. Programas como o PROCEL Edifica e o AQUA, visam, dentre outras ações, analisar e melhorar os parâmetros de consumo de energia das edificações e a relação do usuário com este ambiente. Esta análise passa pela aplicação da sustentabilidade, como produto máximo da eficiência no ambiente construído:

A construção civil sustentável, faz uso de materiais ecologicamente corretos e eficientes e de soluções tecnológicas inteligentes para promover o bom uso e a economia de recursos, como água e energia elétrica; aliados à redução da emissão de gases de efeito estufa, tanto na produção de matéria-prima quanto na operação normal das edificações e a melhoria da qualidade do ar no ambiente (FELDMAN, 2007).

Em consonância com tais afirmações contidas nestas referências bibliográficas, este trabalho tem por objetivo reavaliar a envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar de um edifício público, destinado essencialmente às

atividades de ensino, com a finalidade de verificar a eficiência destas instalações e sistemas e apresentar um roteiro de soluções que levem à redução do consumo de energia.

A partir de 2011 passaram a ser realizados diversos diagnósticos, com o objetivo de avaliar o grau de satisfação dos alunos e professores, com relação às condições do ambiente. Dentre as questões formuladas, o material de diagnóstico pretendia avaliar o conforto térmico; conforto acústico; mobiliário; infraestrutura (sanitários, equipamentos, etc.). Deste diagnóstico, observou-se que mais de 50% das reclamações concentravam-se nas condições internas das salas, como iluminação; visibilidade da lousa; conforto térmico e condições de ventilação do ambiente.

Pretende-se apresentar soluções de condicionamento de ar para a área didática, comparando a eficiência de duas soluções possíveis, bem como os investimentos necessários para aplicação destas soluções.

Quanto à envoltória, se verificará a eficiência das proteções solares atuais, elementos opacos e translúcidos e sua configuração, bem como a influência destes no aumento da carga térmica, iluminação natural, ventilação cruzada e conforto térmico.

A iluminação artificial será analisada nos ambientes de ensino e áreas de circulação, englobando estudos de aproveitamento da iluminação natural e possibilidade de inserção de sensores de iluminação em áreas determinadas.

De acordo com levantamentos realizados por órgãos de pesquisa no setor energético, um percentual representativo da energia consumida, poderia ser reduzido por meio do consumo mais racional. Esta economia, representada essencialmente pela reavaliação dos hábitos de consumo, pela introdução de tecnologias de controle e medição de consumo e pela reavaliação dos ambientes construídos vem ao encontro das políticas energéticas para redução de consumo deste bem escasso e não estocável que é a energia elétrica.

Pretende-se com este trabalho, avaliar um ambiente construído, propondo melhorias por meio de investimentos de baixo custo, com uso de técnicas já ratificadas, criando um roteiro para aplicação em outros edifícios, visando à sustentabilidade do

ambiente. O caso em questão possui ambiente propício para a aplicação das ferramentas de *retrofit*, tendo em vista a disseminação de programas de conscientização como o PURE-USP (2003), já consolidados neste ambiente universitário.

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2014, ano base 2013 (BEN 2014) o segmento de serviços públicos representa 7,6% do consumo de energia elétrica no Brasil e consume cerca de 1,8% de toda a energia disponível, considerando as diversas fontes (Vide Gráfico).

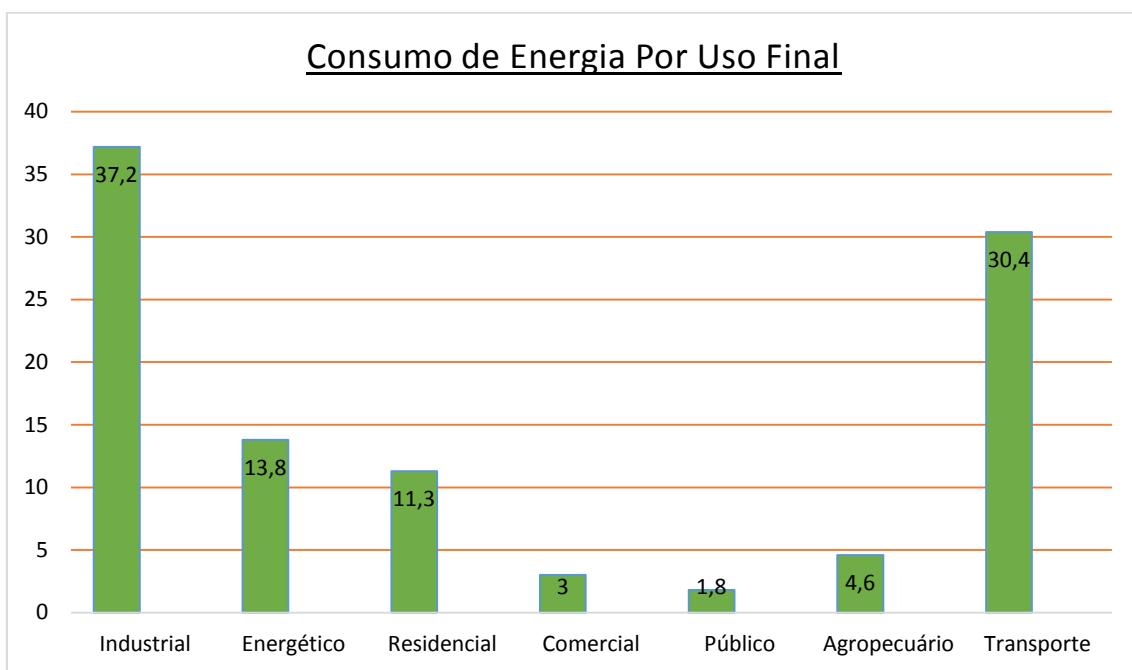


Gráfico 2.4. - FONTE: BEN, 2014 – Todas as Fontes, inclusive eletricidade

Este consumo está representado na forma de uso final em equipamentos; iluminação e ar condicionado, que respondem por quase 50% desta demanda. Uma quantidade expressiva da energia gasta para atendimento destes sistemas pode ser reduzida por meio de projetos arquitetônicos mais sustentáveis, nos quais haja um melhor aproveitamento da iluminação natural, ventilação cruzada e do isolamento térmico da edificação, representado por soluções na envoltória.

A questão da eficiência energética foi tratada como assunto de extrema relevância no cenário internacional a partir do início dos anos de 1970. Desde então, sua importância vem crescendo em um processo contínuo de engajamento das sociedades dos países desenvolvidos e daqueles em desenvolvimento. (ROMÉRO; REIS, 2012).

Até a criação do Procel (1985) – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, não havia medidas que promovessem o uso de energia elétrica com maior eficiência, evitando-se o desperdício com a manutenção do conforto nos ambientes, conforme disciplinam as normas relacionadas à saúde e segurança no trabalho (Portaria 3214/78), sobre os parâmetros mínimos de conforto térmico e ergonômico. Entre 1990/2000 o consumo de energia cresceu 44,6%, enquanto que a capacidade instalada cresceu apenas 28,5% (ROSA, 2001).

A partir de 2001, com a aceleração do crescimento do País, a oferta de energia elétrica não foi suficiente para atender à demanda, resultando no episódio que ficou conhecido como “apagão”. A partir de então o Governo Federal começou a buscar maneiras para amenizar o risco do abastecimento de energia, no curto e longo prazo. Foram impostas algumas medidas para a racionalização do consumo de energia em diversos setores e regiões do País. Iniciou-se o processo de certificação de equipamentos elétricos, sendo que os que possuíam maior eficiência, passaram a receber o selo do Procel, nível A. Este mesmo selo de eficiência foi estendido para certificar às edificações (Procel, 2009)

Em 2007, foi publicada a Regulamentação para a Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos do Procel Edifica, que possui caráter voluntário.

As ferramentas de certificação ambiental voluntária, visando à sustentabilidade como uma resposta do terceiro setor para a questão ambiental, com os chamados selos verdes. Esses selos não são utilizados por força de lei, mas como opção do mercado e por exigência do cliente.

Este mecanismo promoveu o aumento da eficiência no uso de energia em vários edifícios e despertou a consciência para o uso racional de energia, por meio de programas voluntários nas instituições que passaram a avaliar os ambientes e implementar ações de melhoria. Houve uma redução no consumo significativa por meio da resposta da sociedade, adquirindo lâmpadas mais eficientes e equipamentos certificados.

O caráter inicial da compreensão da eficiência energética possuía uma tradução de certa forma negativa, quanto ao seu significado, considerando que as primeiras ações implementadas para a promoção deste tema estavam associadas a um contexto de crise, de escassez de recursos. A sociedade precisava reduzir consumo e as medidas necessárias para tanto, avançavam também no campo do conforto das

pessoas. No entanto, apesar de haver surgido em um contexto de crise, a eficiência energética permanece ao longo das últimas quatro décadas (ROMÉRO; REIS, 2010).

No entanto, a crise do setor do energético aponta para o crescimento do consumo, sem elevação do PIB, levando a acreditar que a sociedade retornou aos hábitos de consumo anteriores, sugerindo medidas mais agressivas para gerir o problema.

Uma das alternativas para superar a crise de energia foi aumentar a produção de eletricidade. Entretanto, essa opção exige grandes investimentos que implicam na redução da aplicação de recursos em outras áreas essenciais, antagonizando a ideia de progresso embutida nessa política (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998 - adaptado).

Dado a constante necessidade de consumo de energia pelo ser humano, no desenvolvimento de suas atividades, o estudo da redução de consumo por meio da eficiência energética, torna-se uma ferramenta fundamental, considerando-se que os custos para a sua racionalização são menores do que para a sua geração e distribuição.

Os impactos no consumo de energia, em especial a elétrica, decorrentes do uso e operação dos edifícios, neste trabalho considerados, dizem respeito às principais modalidades de uso final de energia na edificação, a saber a iluminação, refrigeração e equipamentos.

Como sabemos, os usos finais de cada setor da economia (indústria; comércio; público; energético; transportes, e outros) possuem predominância diferente e devem ser tratados, conforme cada caso, com ferramentas específicas, que podem ser representadas pela introdução de sistemas de geração distribuída; cogeração ou simplesmente pela introdução de materiais e insumos mais eficientes.

De 2008 até o final do ano de 2014, a Agência Nacional de Energia Elétrica contabilizou uma economia de energia da ordem de 3.616 GWh no acumulado desde a implementação de programas de racionalização de uso de energia. Neste mesmo período, foram realizadas substituições ou implantação de equipamentos para combater o desperdício de energia, como geladeiras; aparelhos condicionadores de ar tipo janela e split e instalados sistemas de aquecimento solar em substituição ao chuveiro elétrico. Além disso, houve a substituição de lâmpadas

fluorescentes compactas e tubulares por modelos mais eficientes e a troca por lâmpadas LED, que são mais econômicas. (ANEEL, 2015).

Portanto, as ações relacionadas ao aumento da eficiência energética e à conservação de energia representam um papel muito importante, uma vez que resultam em menor necessidade de produção de energia e adiam a necessidade de pesados investimentos em geração e transmissão.

Nos setores residencial e comercial, incentivos financeiros têm sido ou podem ainda ser criados para influenciar consumidores individuais na demanda de produtos de maior eficiência energética, como aparelhos domésticos, sistemas de iluminação, aquecimento e refrigeração etc. Normalmente tais políticas exigem um amplo trabalho de conscientização do grande público. (ROMERO; REIS, 2012).

O Procel Edifica foi instituído em 2003 pelo Procel/Eletrobrás. As edificações comerciais, de serviços e públicas avaliadas e classificadas recebem a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) concedida em parceria com o INMETRO. Para receber a etiqueta, 3 sistemas da edificação são avaliados: envoltória, iluminação e ar condicionado. Os prédios são classificados de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente). Inicialmente implantada de forma gradual, a etiquetagem passará a ser compulsória no futuro. FONTE: SILVA, 2003 e GOMES, 2011 (adaptado).

É importante citar que as normas descritas estabelecem parâmetros que descrevem a eficiência mínima da edificação, não se tratando especificamente de edificações eficientes, mas sim evitando a prática de construção de edificações energeticamente ineficientes (SILVA, 2003).

“Classificar o desempenho energético de edifícios está se tornando um aspecto de extrema importância do edifício em operação. Um edifício com uma alta classificação pode ser elegível para um reconhecimento especial através de um programa obrigatório ou voluntário. Estes sistemas de classificação ajudam a identificar edifícios que consomem muita energia, fornecendo oportunidade para que medidas de conservação energética sejam tomadas. O sistema de classificação de edifícios é um fenômeno crescente e usado por vários países.” (OLOFSSON et al., 2004)

A elaboração de normas, regulamentações e programas de eficiência energética é uma experiência já realizada em diversos outros países.

São Referências Internacionais da Aplicação e Desenvolvimento dos Conceitos de Eficiência Energética e Sustentabilidade no Mundo:

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CTSB) – Desenvolvimento sustentável para produtos de construção.

Building Research Establishment Group (BRE) – Investigação de materiais de construção e métodos de construção adequados para utilização em novas habitações (British Standard – primeira norma do RU para materiais de construção).

American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) – Promoção da Pesquisa e divulgação tecnológica nas áreas do aquecimento, da ventilação, do condicionamento ambiental e da refrigeração.

No Brasil, é importante ressaltar as seguintes ações normativas:

1991 – Decreto 99.656 – Regula a forma como os prédios públicos devem fazer a redução.

2001 – Lei da Eficiência Energética – Lei 10.295/01.

2001 – Decreto 4059 – Regulação da Lei 10.295/01.

2002 - Decreto 4.131, redução de 17,5% do consumo de prédios públicos.

2002 – Resolução 492 (ANEEL) Estabelece reserva de 0,5% da ROL (Receita Operacional Líquida) das concessionárias em programas de eficiência energética.

2008 – Resolução 300 – ANEEL – critérios para aplicação de recursos em programas de eficiência energética.

Deve-se considerar no estudo de sua aplicação as peculiaridades de cada país e região, devendo-se ter em mente que muitas das normas aplicadas como base em nosso País, por exemplo a ASHRAE, foram desenvolvidas para um país com outra realidade ambiental, econômica e cultural, mas que apesar de haver um limitador, muito mais econômico do que físico, é possível aproveitar e adaptar estas condições de norma à nossa realidade geográfica e cultural.

O InMetro, iniciou a discussão com a sociedade sobre o tema eficiência energética, com a finalidade de racionalizar o uso dos diversos tipos de energia no país, a partir de 1984, informando aos consumidores sobre a eficiência energética de cada produto, promovendo a aquisição de bens mais eficientes e econômicos, por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que consiste na introdução de etiquetas informativas que contém os dados de consumo dos equipamentos elétricos, objetivando alertar o consumidor quanto à eficiência energética de alguns de eletrodomésticos nacionais caracterizados pelo consumo sazonal ou fixo mais expressivo, como por exemplo os equipamentos de ar condicionado, largamente utilizados nas épocas de temperatura extrema e os refrigeradores, cuja eficiência é representativa pelo uso em escala. A atuação do InMetro foi fundamental para a implementação da Lei de Eficiência Energética. Destaca-se a importância da Eletrobrás e da Petrobras como parceiros estratégicos na promoção da eficiência energética como a melhor forma de consumo racional e econômico (InMetro, 2008).

Paralelamente, o Procel promove a certificação de produtos que empregam novas tecnologias, classificando e qualificando os equipamentos que apresentam os melhores índices de eficiência energética dentro da sua categoria, associativamente estimulando os fabricantes nacional a produzirem com maior eficiência e orientando os consumidores a adquirirem equipamentos que apresentem melhor performance de eficiência energética.

O marco regulatório para a gestão de eficiência energética das edificações no Brasil foi estabelecido quando da criação da Lei nº 10.295 dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059 de 19 de dezembro de 2001.

A Lei n.º 10.295/01, estabeleceu os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas. Indicou também a necessidade de “indicadores técnicos e regulamentação específica” para estabelecer a obrigatoriedade dos níveis de eficiência no país. A Lei nº 10.295 e o Decreto nº 4059 fortaleceram o programa de etiquetagem do Procel, que organizou a estrutura necessária para viabilizar as

exigências do decreto lançando em 2003, o Procel Edifica: Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações.

De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética, no consumo de energia em uma edificação há três aspectos a se considerar:

- A energia consumida quando da construção do prédio, embutida na produção e transporte dos materiais de construção, bem como na sua manipulação no canteiro de obras, designada por alguns autores como conteúdo energético predial;
- A energia consumida pelas atividades – fim desenvolvidas no prédio, pelo uso dos equipamentos necessários e indispensáveis à atividades-fim exercidas pelos usuários;
- A energia consumida, destinada a prover os usuários as condições de conforto necessárias à habitabilidade.

No desenvolvimento será focado especificamente o terceiro aspecto, pois é onde essencialmente se pode intervir no contexto de estudo.

As bases do Programa Procel Edifica visam à racionalização do consumo de energia de edificações no Brasil, por meio de estudos da arquitetura bioclimática; Desenvolvimento de indicadores referenciais para edificações; certificação de materiais e equipamentos; desenvolvimento de regulamentação e legislação apropriada; remoção de barreiras à conservação de energia elétrica; e educação por meio da conscientização.

No que diz respeito à eficiência energética, antes da implantação dos regulamentos energéticos, o setor de edifícios dependia, no mundo todo, do desejo do arquiteto ou empreendedor em adotar medidas que trouxessem melhor eficiência. Tais medidas eram consideradas, via de regra, em âmbito das tecnologias passivas ou ativas, ou de ambas, mas implantadas por decisões voluntárias dos projetistas ou proprietários. (ROMÉRO; REIS, 2012)

Corroborando com este ideal, estão as medidas de caráter inerente ao público alvo, que visam à satisfação do usuário, aliadas as condições de conforto e higiene, estabelecidas em legislação específica. Sob este ponto de vista a abordagem da

eficiência deverá considerar as características de uso e tipo de ambiente, neste caso o de ensino.

A arquitetura escolar e a satisfação do usuário em relação à qualidade do ambiente estão diretamente ligadas ao conforto ambiental, que inclui os aspectos térmico, visual, acústico e funcional proporcionados pelos espaços externos e internos. Esses aspectos devem ser avaliados tecnicamente e por meio de opiniões e observações do uso de ambientes escolares, por metodologias específicas de Avaliação Pós-Ocupação (ROMERO; ORNSTEIN, 2003).

E ainda:

“A busca da eficiência energética nas edificações públicas tem um papel fundamental como política pública tanto como efeito demonstrativo quanto como indutor do mercado...mostra para a sociedade a coerência do governo entre o discurso e a ação.” (PNEF, 2011).

A conscientização assume papel muito importante, tanto no contexto global como no contexto local, na busca pelo equilíbrio entre as necessidades e o perfil de consumo da sociedade atual. O produto destas escolhas da sociedade, dentro da sua vertente tecnológica, deverá considerar as variáveis representadas pelo contexto local de cada organização.

Segundo ROMÉRO e REIS (2012):

Os selos verdes para os edifícios são uma consequência de todo esse processo e surgiram como uma resposta da sociedade civil organizada à falta de iniciativa dos governos em implantar políticas restritivas ou mesmo políticas de incentivo na área da sustentabilidade. Na verdade, foi por meio da eficiência energética que o conceito de sustentabilidade foi construído e pode-se dizer que o aspecto energia é um dos mais importantes nas certificações verdes existentes no mundo.

Outra tarefa importante no âmbito de análises de ações voltadas à eficiência energética no que se refere aos usos finais é sua identificação e estratificação, segundo características que permitam o reconhecimento dos setores nos quais são aplicados e dos tipos de serviços que podem prestar.

Estudos realizados por meio do sistema SISGEN (USP), apontam que os principais usos finais de energia no Campus estão concentrados em iluminação, 32%; Ar condicionado 17% e equipamentos 42% (SAIDEL, 2005). Portanto, a gestão destes

dados de consumo é essencial para a manutenção de programas que visam à racionalização e eficiência no uso de energia.

Neste ínterim, propõe-se aplicar neste trabalho metodologias que visem ao desenvolvimento de tecnologias passivas e ativas, objetivando o ganho de eficiência das edificações, associado à redução do consumo energético.

Segundo ROMERO e REIS (2012), tecnologias passivas são:

“Aquelas que se utilizam das condições climáticas do local para atingir os níveis desejados de conforto ambiental e eficiência energética; utilizam largamente as envolventes verticais e horizontais, opacas e transparentes e não demandam a utilização de nenhum tipo de energia para o seu funcionamento, a não ser a energia solar eletromagnética; o seu potencial deve ser (integralmente explorado) esgotado antes da introdução de outras possibilidades tecnológicas.”

E ainda, segundo os mesmos autores:

“...as tecnologias solares passivas, são representadas pela correta escolha dos materiais de construção opacos e translúcidos em função da forma; condições climáticas locais; fator de forma; edifícios vizinhos e sua influência no projeto; quadrantes de maior radiação; protetores solares externos; possibilidade de captação da luz natural sem elevar excessivamente a carga térmica; contribuição das cargas internas; amplitude térmica local; umidade relativa do ar; a direção e a velocidade dos ventos predominantes.”

Esta última análise vai ao encontro da exploração das zonas bioclimáticas e aplica-se de maneira mais significativa às construções novas, que não serão objeto deste estudo de caso, haja vista que pouco pode ser alterado neste sentido, sem provocar investimentos de custo mais representativo.

De acordo com ROMÉRO e REIS (2012), *tecnologias ativas* são aquelas que complementam as passivas e geram consumos energéticos. Uma vez esgotadas as possibilidades passivas, analisa-se a viabilidade de implantação de tecnologias ativas que vão desde a adequada escolha de lâmpadas para os ambientes internos e externos; divisão espacial dos circuitos elétricos; colocação de sensores de presença em áreas de circulações e ambientes de permanência transitória; adoção de luminárias refletoras; escolha de ambientes com controle individual das condições de conforto; utilização de iluminação de segurança para o período noturno; viabilidade de implantação de iluminação setorizada; localização correta dos sensores do condicionamento ambiental; controladores de demanda de pico; gerenciamento de elevadores; implantação de automação dos

apartamentos para o desligamento automático dos circuitos; escolha de equipamentos de refrigeração com baixa potência.

Tais tecnologias serão discutidas sob a forma de tópicos relacionados aos elementos da envoltória: protetores solares externos (*brises-soleil*); películas de proteção; protetores solares internos (cortinas e persianas); áreas translúcidas e opacas; tipo de cobertura e forro, voltados para os parâmetros de eficiência exigidos em ambientes de ensino.

Estudos mostram que o *desempenho insatisfatório do conforto térmico altera a percepção do usuário sobre os demais itens (acústico, luminoso e ergonômico)*, o que confirma a importância do conforto térmico ambiental em seus vários aspectos (ARAUJO, 1999). Portanto, a abordagem sobre o conforto térmico ambiental pode ser um ponto de partida para o levantamento das condições de eficiência energética do edifício, otimizando as características de iluminação e ventilação natural; necessidades e valores de condicionamento; iluminação artificial e envoltória, a fim de satisfazer às necessidades do usuário, atentando para os parâmetros de sustentabilidade na construção.

Na literatura nacional, os estudos demonstram que a maioria das edificações escolares apresenta condições ambientais aquém das desejadas. As principais falhas dizem respeito às condições de conforto térmico e de funcionalidade (KOWALTOWSKI, 2011)

Analizando os aspectos funcionais do ambiente construído, percebemos que soluções simplificadas de ajuste de layout, podem representar ganho de eficiência e economia de energia.

O esquema de edificação escolar, com salas de aula distribuídas pelo corredor lateral oferecem maior conforto ambiental em clima quente e úmido, pela ventilação cruzada, orientação solar otimizada e diminuição de interferências acústicas entre salas de aula. (KNATZ, 2011)

2.1. Uso dos Brises-Soleil

O conceito de uso dos *brises-soleil* foi introduzido no Brasil pelo arquiteto Le Corbusier e amplamente explorado pelo arquiteto Lúcio Costa, Affonso Reidy, irmãos M.M.M. Roberto, dentre outros. A sua finalidade é a de oferecer conforto térmico para as edificações. Este conceito difundiu no País a Arquitetura funcional,

distinguindo-se pelo fato de que as fachadas expostas ao sol são protegidas por persianas móveis ou fixas, formando um verdadeiro anteparo.

Agregados a estes elementos, eram exploradas as soluções de pilotis, ventilação cruzada e escolha da fachada mais favorável dentro do contexto arquitetônico que melhor contribuísse para o desenvolvimento das atividades fim às quais o edifício se dedicava.

Datam dessa época inúmeros projetos, com o Edifício Seguradoras, Marques de Herval e Gustavo Capanema (Foto 2.1).

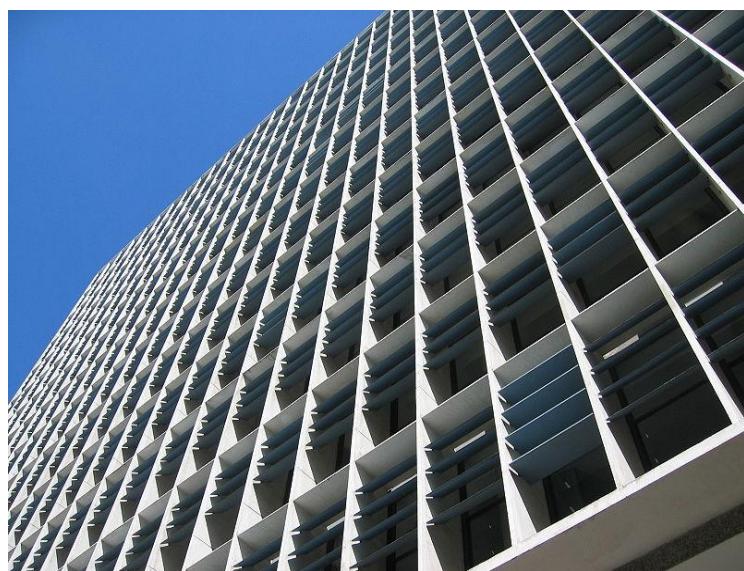


Foto 2.1. - FONTE: Wikipédia - Edifício Gustavo Capanema (1937)- MEC/RJ

Há na literatura diversos exemplos de projetos que se utilizaram da aplicação deste anteparo, em especial cito o Edifício Marques de Herval, obra dos Roberto, pelo fato de que propunha a utilização de lâminas basculantes de alumínio com dispositivos fixos, sustentados por uma fina armação metálica. Porém, após dez anos de uso, este sistema demandava de uma manutenção onerosa e foi removido da fachada da edificação pelos proprietários (BRUAND, 2010).

A sustentabilidade econômica, tendo em vista este exemplo, torna-se de fundamental importância no desenvolvimento e aplicação de uma solução técnica que seja durável e cuja manutenção se justifique ao longo dos anos, especialmente em um setor cujos recursos financeiros são limitados, como é o caso do setor público.

O *brise-soleil* constitui uma maneira pouco dispendiosa de controle de luz e calor, protegendo os ambientes da insolação, sem perturbar a ventilação natural desejada.

“As trocas térmicas mais importantes em uma edificação acontecem por meio dos fechamentos transparentes representados por janelas, peles de vidro e outros elementos translúcidos das fachadas. Nesses fechamentos podem ocorrer os três tipos básicos de trocas térmicas: condução, convecção e radiação. Com relação às duas primeiras, o comportamento é semelhante ao dos fechamentos opacos, acrescentando aos transparentes a possibilidade do controle das trocas térmicas basicamente ao abri-los ou fechá-los.” (MORI, 2012)

Situações de desconforto causadas seja por temperaturas extremas, falta de ventilação adequada, umidade excessiva combinada com temperaturas elevadas ou por radiação térmica de superfícies muito aquecidas podem ser prejudiciais e causar alterações no organismo. Os fatores que influenciam o conforto térmico são classificados em ambientais e individuais. Os parâmetros para a avaliação térmica de um ambiente estão assim elencados:

- *Temperatura do ar;*
- *Temperatura radiante*
- *Ventilação e troca de ar;*
- *Exposição à radiação solar;*
- *Umidade relativa;*
- *Presença de superfícies muito aquecidas;*
- *Paredes expostas à radiação solar direta ou coberturas sem a resistência térmica adequada;*
- *Mofo e deterioração de materiais construtivos.*

(KOWALTOWSKY, 2011)

Os *brises-soleil* são elementos de sombra e de reflexão de raios solares muito importantes dentro da avaliação do edifício, agindo como um dispositivo de proteção solar externo. Estes protetores solares são mais indicados para a radiação solar direta e necessitam de cálculos precisos para que sejam eficientes e prescindem de estudos específicos para que não tornem o ambiente interno muito escuro ou gerem insolação por faixas nas aberturas entre as lâminas.

As proteções solares internas são basicamente as cortinas e as persianas. São bastante flexíveis sob o ponto de vista da operação, bastando abri-las ou fechá-las conforme a necessidade. Porém, as proteções internas não evitam o efeito estufa, pois o calor solar que as atinge se transforma em radiação de onda longa, permanecendo na sua maior parte no ambiente interior. A opção por uma proteção externa pode ser a mais adequada se houver um dimensionamento que garanta a redução da incidência da radiação solar, quando necessária, sem interferir na luz natural. É importante salientar que as proteções externas também interferem na definição da fachada arquitetônica. Podem ser pensadas como elemento compositivo da fachada e se tirar partido desta idéia para conceber, inclusive, a linguagem arquitetônica do edifício (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997).

No entanto, o uso de protetores solares nas fachadas ainda é visto com certa contrariedade, sob o ponto de vista da estética arquitetônica, não sendo ainda amplamente explorado e empregado como solução na redução do consumo:

Ainda não foi incorporado o condicionamento passivo, ou a relação custo versus benefício na redução do consumo de energia. (GUTIERREZ; LABAKI, 2005).

2.2. Exploração da Iluminação Natural e Complementação de Iluminação Artificial

No contexto da eficiência energética nos edifícios, mais recentemente, a iluminação natural tem sido considerada uma forma de redução do uso de energia elétrica no provimento de iluminação. Associada às soluções de eficiência na distribuição e aplicação da iluminação artificial, poderá representar ganhos expressivos de economia e eficiência no desempenho das tarefas visuais.

O rendimento da iluminação artificial pode ser afetado pela temperatura do meio ambiente; as características da cor, segundo a operação da fonte; a sujeira pode causar perda de rendimento da luz; as variações no fornecimento da eletricidade podem diminuir a vida útil da lâmpada, seu rendimento ou a eficácia da luz (ROMERO; REIS, 2012).

No setor público, em virtude do sistema de compras de materiais e insumos ocorrer predominantemente na modalidade pregão, cuja aquisição deve ser feita considerando-se o menor preço ofertado para o fornecimento de um determinado bem, torna-se de grande relevância a minuciosa especificação de lâmpadas e de todo o conjunto que a compõe, sejam reatores, drivers, soquetes e luminárias, haja vista que há uma considerável variedade de tipos de lâmpadas elétricas, destinadas

a usos diferenciados e agrupadas em diferentes categorias segundo o tipo de tecnologia empregada.

Um estudo pós-ocupação realizado na cidade de Campinas verificou uma distribuição não uniforme da iluminância na maior parte das salas, com nível fora das recomendações, e condições inadequadas de manutenção das lâmpadas, sem padronização de número, independentemente do tamanho das salas de aula (GRAÇA; SCARAZZATO; KOWALTOWSKY, 2001).

A NBR 5413 estabelece os níveis mínimos de iluminação recomendados para cada ambiente no qual se desenvolvem atividades educacionais, como salas de aula, laboratórios e outros (Tabela 2.1.).

A falta de planejamento da iluminação concorre para a diminuição do desempenho na execução das tarefas, sendo quando ela é deficiente ou quando ocorre em excesso, causando ofuscamento.

Tipo de Ambiente	Níveis de Iluminação Recomendados (lux)
Salas de Aula	300 - 500
Perto da lousa	500 - 750
Laboratórios	200 – 300
Secretarias (área administrativa)	500
Auditório	
Plateia	200 – 300
Palco ou tribuna	500 - 750

Tabela 2.1. - Níveis de Iluminação Recomendados. FONTE: NB – 57 (ABNT, 1992c) - Adaptado

Os principais problemas detectados em avaliações de ambientes escolares com baixo nível de iluminação são: mau funcionamento das lâmpadas, cortinas fechadas em condições de céu encoberto, baixa reflexão da luz pela pintura escura ou muito suja das paredes. Ofuscamento em determinadas horas do dia; insolação e alto nível de claridade nas áreas da sala de aula próximas às janelas. (KOWALTOWSY, 2012).

O levantamento amostral para identificar a situação do sistema de iluminação é imprescindível na abordagem do roteiro de avaliação do sistema.

2.3. Condicionamento Térmico e Ventilação

De acordo com os estudos da Procel, relacionados à eficiência de equipamentos de refrigeração, aparelhos de ar condicionado do tipo janela, chegam a ser 50% menos eficientes do que os equipamentos do tipo Split, para capacidades acima de 14.000 TR's.

A reavaliação da aplicação de tais equipamentos, conforme setor, características da ocupação e capacidade de refrigeração necessária para o resfriamento é importante para o desempenho da eficiência de cada sistema. O levantamento de dados efetuado de maneira diligente irá colaborar para a escolha do sistema ideal de refrigeração, sob o ponto de vista da eficiência de operação e economia no consumo de energia.

As características da envoltória influenciam diretamente no ganho de calor pelo ambiente a ser condicionado, além de outras condicionantes:

“O ganho interno de calor numa sala é a soma dos ganhos de calor de: condução através das paredes, tetos, piso e vidros; pessoas; equipamentos...” (TRANE, 1980).

Para a avaliação térmica dos ambientes, objeto de estudo, serão considerados os seguintes elementos:

1. De sombreamento: cortinas, persianas, *brises-soleil*, entorno;
2. De ventilação: janelas; elementos vazados.
3. De ventilação mecânica: ventiladores de teto/parede;
4. Da temperatura: medições de temperatura expeditas, realizadas por órgãos de saúde e segurança do trabalho.
5. Levantamento amostral das condições de condicionamento do ar, quando houver, incluindo estado de conservação.
6. Percepção dos usuários com base em diagnósticos realizados semestralmente.
7. De revestimento: envoltória (vedação com material opaco e translúcido), forro e material de cobertura.

3. CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A edificação que será objeto do presente estudo de caso é um prédio público, destinado à atividade de ensino, construído no ano de 1975 (Ala Central) e 1991(Ala II), implantado em um dos Institutos da Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira (CUASO).

Neste edifício objeto de estudo, funcionam diversas atividades de graduação, pós-graduação, apoio às atividades acadêmicas, laboratórios, salas administrativas e de docentes.

A edificação é constituída de três corpos, denominados “Alas” e dois anexos, todos construídos em tempos distintos. Inicialmente as Alas, nomeadas Ala I, Central e II, eram independentes, sem interligação, separadas por uma faixa de passeio lateral de cerca de 10 metros de largura. A primeira edificação a ser construída foi a Ala Central, posteriormente as Alas II (Foto 3.2.), à direita e a Ala I (Foto 3.1.), à esquerda, sendo concluída em meados de 1990.



Foto 3.1. - Ala I, à esquerda, construída em 1991 e Anexo I, construído em 2001



Foto 3.2. - Ala II, Construída em 1991, paisagismo do entorno.

Estes corpos de edificação construídos de maneira estruturada, em concreto aparente, previam a flexibilidade na determinação do layout interno e inicialmente estavam previstos para atender ao desenvolvimento das atividades didáticas e suas áreas de apoio, essencialmente. As paredes de vedação são constituídas de tijolos cerâmicos, revestidas com argamassa e uma fina camada de fulget (Ala Central). A pintura externa das fachadas foi feita com cores azul (Ala Central) e Amarelo Ouro (Ala II). A Ala I não integrará o presente estudo, devido ao diferente uso com relação às atividades alocadas nas Alas II e Central.

As Alas Central e II foram destinadas ao desenvolvimento de atividades de laboratório (experimentais), no andar térreo e às atividades de ensino teórico (salas de aula) no primeiro pavimento. O segundo pavimento foi destinado a abrigar salas de docentes e serviços de apoio. Com o tempo, a configuração das salas de aula foi sendo alterada, havendo a necessidade da revisão de alguns espaços, devido à crescente demanda de vagas. Surgiram os Anexos da Ala I, construído em 2001 e da Ala II, em 2006, dispostos entre as Alas I e Central e Central e II, respectivamente. Tais edificações abrigam auditórios, com a finalidade de atender às turmas de maior quantidade de alunos (entre 70 e 100), geralmente de ciclos básicos da graduação e de cursos interunidades.

O padrão arquitetônico empregado propôs a repetição do modelo construtivo da Ala construída inicialmente, com fechamentos translúcidos até a altura do peitoril nas fachadas e salas de aula distribuídas ao longo de áreas de circulação lateral.



Foto 3.3. – Sala com distribuição de carteiras paralelas à janela (esq.) e perpendiculares (dir.)

O pavimento que será estudado é o 1.^º pavimento, que concentra as atividades de ensino teórico, composto por 15 salas de aula, 04 auditórios, 13 salas de apoio, e 08 salas de infraestrutura (três salas de processamento de dados (racks), duas salas de vigilância, duas salas de reunião e uma copa), além de uma área de atividades departamentais.

A implantação da edificação no terreno possui fachadas voltadas para a orientação nordeste (NE) e sudeste (SE), sendo que apenas 04 das 15 salas de aula estão localizadas na fachada SE, sendo uma delas laboratório de informática.

As salas SL 06 a SL 11 (Ala Central) possuem sombreamento natural, proporcionado pelo plantio de seringueiras e as salas SL 01 a SL 05, são cercadas por vegetação de porte menor, essencialmente formada por tipuanas.

Todas as salas possuem *brises-soleil* (Foto 3.4.); exceto as que são voltadas para SE; estes elementos de proteção são constituídos de alumínio, com réguas horizontais e ângulo de inclinação fixo de 45 °, dispostos verticalmente, da altura do peitoril até a altura da laje do pavimento superior e horizontalmente da linha do beiral até a parede de vedação da fachada (Foto 05).



Foto 3.4. – Brises-Soleil, instalados na face NE da fachada

Todas as salas possuem caixilhos de alumínio/ferro, com baguetes do mesmo material. Os vidros são translúcidos, com espessura de 4mm e aplicação de película de proteção na cor fumê, com índice de redução de incidência solar de 80%. As janelas são do tipo maxim-ar na parte inferior e vidro fixo na parte superior; exceto a sala SL 01, cujos vidros são todos fixos, com sistema de gaxetas de neoprene.

As janelas são providas de persianas de cor clara, fixadas na altura de 2,00m em relação ao piso, padrão fixo, com lâminas verticais; este modelo de persiana foi sugerido em 2009, pois a instalação de persianas até a altura do peitoril mostrou desvantagens devido à constante manutenção e troca de todo o sistema.

Todos os ambientes possuem forro do tipo modular constituído de lã de vidro, exceto os auditórios e áreas localizadas nos anexos, cujo forro é de gesso acartonado.

A ocupação das salas de aula é sazonal, com disciplinas que são ministradas no período da manhã, tarde e noite, com ocupação que varia das 8h00 às 23h00.



Fig. 3.1. – Planta Baixa das Alas II e Central, 1.º Pavimento

Dentre as quinze salas de aula, quatro possuem bancada diferenciada, a fim de possibilitar a realização de aulas experimentais; todas as salas de aula possuem equipamentos de projeção e telas retráteis (manuais). Todas as salas possuem ventiladores de teto; as salas de informática possuem equipamentos de ar condicionado do tipo janela e split system piso-teto.

4. METODOLOGIA

4.1. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Existem vários métodos para determinar o número de luminárias necessárias para produzir um determinado iluminamento, dentre eles: pela carga mínima exigida por normas; método dos lúmens; método das cavidades sazonais (áreas de alto padrão técnico) e método ponto por ponto (iluminação local). Utilizaremos o método dos lúmens, por tratar-se de um método amplamente difundido, de fácil aplicação e de maior relevância para o estudo em questão.

No entanto, considerando que a edificação não possui medição centralizada e que não há atualmente nenhuma forma de monitoramento de consumo, a fim de que a estudo possa ser validado e/ou comparado para que se possa chegar a uma análise coerente, que forneça soluções e conclusões para o presente estudo de caso, será realizado o levantamento da instalação atual e sua configuração, conforme segue:

- Número de luminárias e lâmpadas por sala de aula e ambiente, características e consumo, esquema de acendimento;
- Número de equipamentos eletrônicos, característica de uso e capacidade;
- Número de equipamento destinados ao condicionamento de ar, suas características e consumo;
- Características do ambiente construído: área de vidro, área de alvenaria; cor do forro; cor do piso;
- Características dos Materiais Construtivos: Tipo de vidro e espessura; alvenaria externa, interna e espessura da parede; tipo de proteção interna (persianas, cortinas e películas); tipo de proteção externa (material, máscara, cor); tipo de abertura;
- Hábitos de uso da edificação. Número de ocupantes por sala.

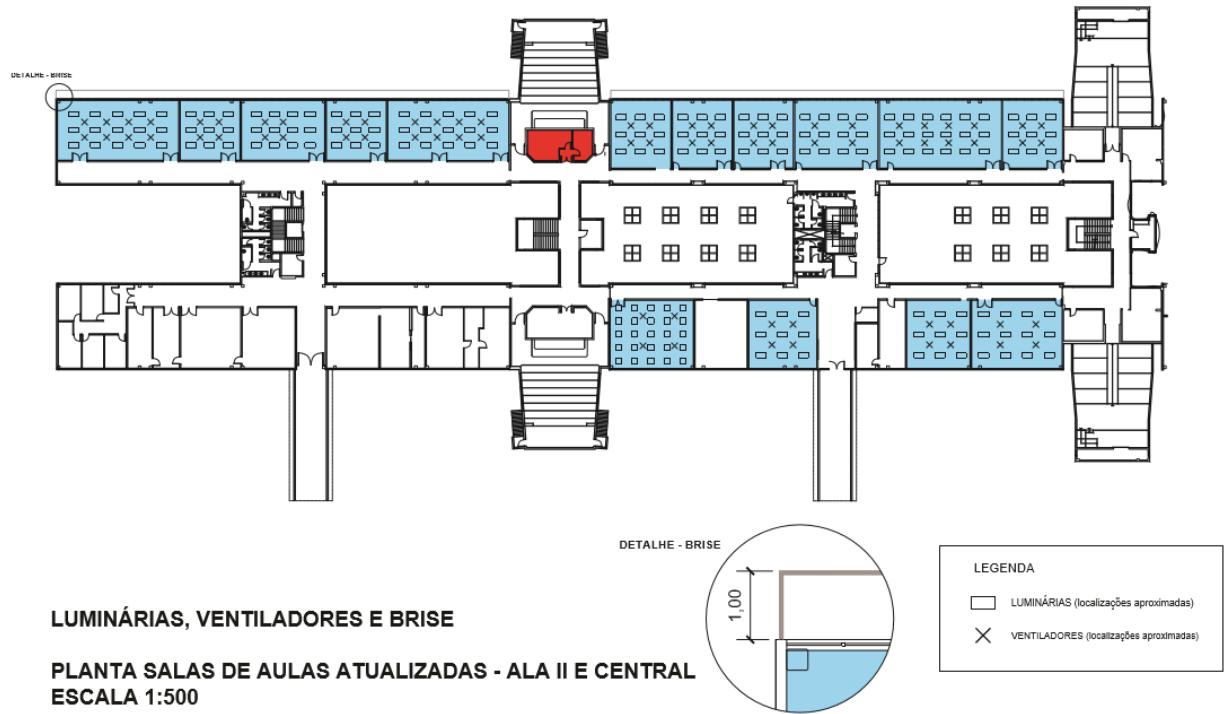


Fig. 4.1. - Esquema da iluminação das salas de aula

Ambiente	Larg.(m)	Comp.(m)	Área (m ²)	P.D. (m)	N.º Lumin.	N.º Lâmp.	Pot. (W)	Total (W)
SL 01	7,06	14,24	100,53	2,70	15	4	32	480
SL 02	7,06	7,03	49,63	2,70	9	4	32	288
SL 03	7,06	9,77	68,98	2,70	12	4	32	384
SL 04	7,06	7,012	49,50	2,70	9	4	32	288
SL 05	7,06	14,21	100,32	2,70	15	4	32	480
SL 06	7,97	7,06	56,27	2,85	9	4	32	288
SL 07	7,97	7,05	56,19	2,85	9	4	32	288
SL 08	7,97	7,01	55,87	2,85	9	4	32	288
SL 09	7,97	9,77	77,87	2,85	12	4	32	384
SL 10	7,97	14,32	114,13	2,85	18	4	32	576
SL 11	7,97	7,01	55,87	2,85	9	4	32	288
SL 12	7,98	9,08	72,46	2,78	25	4	26	650
SL 13	7,98	7,98	63,68	2,78	9	4	32	288
SL 14	7,98	7,48	59,69	2,78	9	4	32	288
SL 15	7,98	10,63	84,83	2,78	12	4	32	384
								5642

Tabela 4.1. – Dimensões dos ambientes e sistema de iluminação atual

4.1.1. Seleção da Iluminância

O roteiro para a seleção da iluminância é dado pela Norma NBR-5413 da ABNT, a qual determina os níveis recomendados para iluminação de interiores, conforme tabelas de iluminância para cada grupo de tarefas visuais (lux) e fatores determinantes da iluminância adequada.

Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples.	20 – 30 - 50	Área pública com arredores escuros.
	50 – 75 - 100	Orientação simples para permanência curta.
	100 – 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo, depósitos.
	200 – 300 – 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditório.
Iluminação geral para área de trabalho.	500 – 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	1000 – 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis.	2000 – 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	5000 – 7500 – 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica.
	10000 – 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.

Tabela 4.2. – Iluminância para cada grupo de tarefas visuais – Ref.: Tabela 1 da HBR 5413/92

As tabelas apresentadas por esta norma, avaliam as características da tarefa, sob o ponto de vista da idade do executor, velocidade e precisão necessárias para o

atendimento da tarefa e refletância do fundo da tarefa (Tab. 4.3.), atribuindo pesos a cada uma destas características, os quais somados algebricamente determinarão se a iluminância a ser utilizada para determinado ambiente é a da faixa inferior, média ou superior. Para determinação destas faixas, utiliza-se uma segunda tabela da Norma NBR-5413 (Tab. 4.2.).

Este roteiro de cálculo foi aplicado a cada um dos ambientes em análise.

Característica da Tarefa e do Observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	< 40 anos	40 a 55 anos	> 55 anos
Velocidade e Precisão	Sem Importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo de tarefa	> a 70%	30 a 70%	< 30%

Tabela 4.3. – Ref.: Tabela 2 da HBR 5413/92

A Tabela de Iluminância em lux, por tipo de atividades, (NB-57 da NBR – 5413/91), determina que para salas de aula, as iluminâncias são de 200, 300 e 500 lux, referindo-se a nível baixo, médio e alto, respectivamente. Da mesma forma os quadros negros devem possuir níveis de iluminância de 300, 500 e 750 lux, referindo-se a nível baixo, médio e alto, respectivamente. De acordo com a mesma norma, os valores mais baixos devem ser utilizados quando houver refletâncias ou contrastes altos; velocidade e precisão sem importância e quando a tarefa é realizada ocasionalmente. Os valores mais altos devem ser utilizados quando a tarefa se apresenta com refletâncias e contrastes baixos; os erros são de difícil correção; o trabalho visual é crítico; a alta produtividade ou precisão são importantes e a capacidade visual está abaixo da média.

Considerando todas as informações obtidas sobre o ambiente em questão, os valores de iluminância que serão considerados para a sala serão de 300 lux e para a lousa (quadro-negro), serão de 500 lux, ou seja, os valores médios referenciados por norma.

Esta escolha está baseada no peso obtido por meio da tabela de Fatores Determinantes da Iluminância Adequada, com base na qual foi obtido o peso “-1” como somatório dos pesos de idade = -1; foi considerada a média da faixa etária do observador em questão, cerca de 70% tem idade até 20 anos e 27% idade até 23 anos. Velocidade e precisão = 0; e refletância do fundo de tarefa = 0, considerando que o plano de trabalho é branco, ou seja, possui reflexão de 70%.

Para a determinação da luminária, torna-se imprescindível a consulta a catálogos de fabricantes. Neste estudo de caso, foi considerado o catálogo da Osram, a partir do qual, utilizaremos os dados de exemplo para cálculo do coeficiente de utilização.

4.1.2. Determinação do índice do Local

O índice “k”, relaciona as dimensões do recinto, comprimento, largura e distância da luminária ao plano de trabalho:

$$k = c \times l / h_m (c + l) \quad (1)$$

Onde :

c = comprimento do local;

l = largura do local;

h_m = altura de montagem da luminária. A altura de montagem adotada é 2,00; 2,08 e 2,15, de acordo com o pé direito de cada grupo de salas

4.1.3. Determinação do Coeficiente de Utilização

O coeficiente de utilização relaciona o fluxo luminoso inicial da luminária e o fluxo recebido pelo plano de trabalho, o qual depende da cor das paredes, teto e piso, de acordo com os seguintes índices:

Índice	Reflexão	Significado
1	10%	Superfície escura
3	30%	Superfície média
5	50%	Superfície clara
7	70%	Superfície branca

Tabela 4.4. – Fonte: CREDER, Hélio – Instalações Elétricas p.166

Todas as salas possuem teto branco, paredes claras e piso médio ou escuro. A qualidade da coloração do forro existente nos tetos está depreciada, reduzindo o nível de refletância, no entanto, presumindo-se que as placas deverão ser substituídas em curto espaço de tempo e que sua cor original é branca, adotou-se para efeito de cálculo a cor branca; portanto, coeficiente de utilização 753.

Na distribuição de iluminação atual, a sala possui a mesma configuração de iluminação para todo o ambiente, sem considerar a necessidade adicional de iluminação da lousa, em virtude da distinta refletância da superfície.

Em função da luminária escolhida, no caso o modelo de embutir “TBS262” para duas lâmpadas TL5 de 28W e reator eletrônico de 220V, a tabela que será utilizada para cálculo do fator de utilização é a seguinte:

Fator de Área k	80		70				50		30		10
	50	50	50	50	50	30	30	10	30	10	10
	30	10	30	20	10	10	10	10	10	10	10
0,60	,35	,34	,35	,34	,33	,29	,29	,27	,29	,26	,25
0,80	,43	,40	,42	,41	,40	,36	,36	,33	,35	,33	,32
1,00	,40	,45	,48	,46	,45	,41	,41	,38	,40	,38	,37
1,25	,54	,50	,53	,51	,49	,46	,46	,43	,45	,43	,42
1,50	,50	,53	,57	,54	,52	,49	,49	,47	,48	,46	,45
2,00	,64	,57	,62	,59	,56	,54	,53	,52	,53	,51	,50
2,50	,67	,59	,65	,62	,59	,57	,56	,54	,55	,54	,52
3,00	,69	,61	,67	,64	,60	,58	,58	,56	,57	,56	,54
4,00	,72	,62	,70	,65	,62	,60	,59	,58	,58	,57	,56
5,00	,73	,63	,71	,67	,62	,61	,60	,59	,59	,58	,57

Tabela 4.5. – Coeficiente de utilização para luminária TBS (Referência: Catálogo OSRAM)

Este modelo de luminária foi escolhido pelos seguintes motivos: incorpora as dimensões necessárias para encaixe no forro modular atual, (625mmx1250mm); é adequada para o tipo de uso, de acordo com o fabricante (escola), a lâmpada de 28W TL5 ou T5, possui fluxo luminoso de 2600 lúmens, possibilitando a redução da quantidade de luminárias, e o seu custo inicial é baixo.

4.1.4. Determinação do Fator de Depreciação

O fator de depreciação diz respeito à manutenção da luminária e relaciona o fluxo emitido no fim do período de manutenção com o seu fluxo luminoso inicial.

O ambiente de estudo é do tipo normal, quanto ao grau de limpeza; porém, considerando que a limpeza de luminárias não faz parte da rotina de manutenção predial, para este estudo de caso, consideramos a última faixa, equivalente a 7.500 horas, ou seja, para efeito de cálculo, será utilizado o fator de depreciação 0,80, de acordo com a tabela de depreciação.

Tipo de Ambiente	Período de Manutenção		
	2500	5000	7500
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

Tabela 4.6. – Fator de Depreciação em função da manutenção e limpeza

4.1.5. Fluxo Luminoso Total e Número de Luminárias

O fluxo luminoso total é resultado do produto da área do ambiente pelo nível de iluminamento ideal, neste caso 300 lux (sala) e 500 lux (lousa), dividido pelo produto do coeficiente de utilização pelo fator de depreciação. Para o ambiente objeto deste estudo de caso, foram encontrados os seguintes valores de fluxo luminoso total:

Amb.	A01(m ²)	A02 (m ²)	hm	k	FU	FD	Φ01	Φ02	φ	N01	N02
SL 01	86,41	14,12	2,00	2,36	0,64	0,8	50633,44	13789,06	5200	10	3
SL 02	39,04	10,59	2,00	1,76	0,54	0,8	27112,36	12256,94	5200	6	3
SL 03	54,86	14,12	2,00	2,05	0,62	0,8	33179,15	14233,87	5200	7	3
SL 04	38,91	10,59	2,00	1,76	0,54	0,8	27024,11	12256,94	5200	6	3
SL 05	86,20	14,12	2,00	2,36	0,64	0,8	50509,34	13789,06	5200	10	3
SL 06	44,31	11,96	2,15	1,74	0,64	0,8	25964,77	11674,8	5200	5	3
SL 07	44,23	11,96	2,15	1,74	0,64	0,8	25918,07	11674,8	5200	5	3
SL 08	39,93	11,96	2,15	1,73	0,63	0,8	23767,68	11860,12	5200	5	3
SL 09	61,93	15,94	2,15	2,04	0,62	0,8	37455,79	16068,55	5200	8	4
SL 10	98,19	15,94	2,15	2,38	0,64	0,8	57533,44	15566,41	5200	12	3
SL 11	43,91	11,96	2,15	1,73	0,63	0,8	26139,7	11860,12	5200	6	3
SL 12	60,49	11,97	2,08	2,04	0,62	0,8	36585,73	12066,53	5200	8	3
SL 13	51,71	11,97	2,08	1,92	0,61	0,8	31789,18	12264,34	5200	7	3
SL 14	47,72	11,97	2,08	1,86	0,61	0,8	29336,31	12264,34	5200	6	3
SL 15	68,87	15,96	2,08	2,19	0,63	0,8	40992,5	15833,33	5200	8	4

Tabela 4.7. – Resultados

O ambiente foi dividido em duas áreas distintas: iluminação geral da sala de aula, com 300 lux e plano de trabalho (lousa, faixa de 1,5m a 2,00m), com 500 lux.

De acordo com os cálculos realizados, haverá uma redução significativa no número de luminárias, lâmpadas e consequentemente na potência instalada para iluminação em cada sala, conforme segue:

SITUAÇÃO ATUAL					SITUAÇÃO IDEAL				
Amb.	N.º Lumin.	N.º Lâmp.	Pot. (W)	Total	N.º Lumin.	N.º Lâmp.	Pot. (W)	Total	
SL 01	15	4	32	1920	14	2	28	784	
SL 02	9	4	32	1152	10	2	28	560	
SL 03	12	4	32	1536	10	2	28	560	
SL 04	9	4	32	1152	9	2	28	504	
SL 05	15	4	32	1920	14	2	28	784	
SL 06	9	4	32	1152	8	2	28	448	
SL 07	9	4	32	1152	8	2	28	448	
SL 08	9	4	32	1152	8	2	28	448	
SL 09	12	4	32	1536	12	2	28	672	
SL 10	18	4	32	2304	15	2	28	840	
SL 11	9	4	32	1152	10	2	28	560	
SL 12	25	4	26	2600	12	2	28	672	
SL 13	9	4	32	1152	10	2	28	560	
SL 14	9	4	32	1152	10	2	28	560	
SL 15	12	4	32	1536	12	2	28	672	
				22568				9072	

Tabela 4.8. – Comparação da Potência Instalada Atual com a demanda necessária calculada

De acordo com a Tabela 4.8, a adoção de um conjunto de luminária e lâmpada mais eficientes, associados à aplicação de uma iluminância mais adequada para a atividade, apresenta uma redução de mais de 61% na potência instalada.

O uso das salas de aula segue uma distribuição definida no início do semestre, podendo ocorrer ao longo do ano solicitações de uso que não estejam pré-definidas. Há períodos, portanto, nos quais as salas estão vazias e pressupõe-se que o sistema de iluminação esteja desligado. Devido ao sombreamento proporcionado pelos protetores solares instalados na fachada NE, as luminárias permanecem ligadas também no período da manhã, quando as salas estão em uso.

Foi utilizada a grade de distribuição de disciplinas, por sala, para possibilitar um cálculo expedito de consumo mensal de energia, em kWh, comparando-se a configuração atual e a proposta.

CONSUMO ATUAL ESTIMADO				CONSUMO ESTIMADO APÓS RETROFIT			
Amb.	Total (W)	Uso xmês(h)	Cons.(kWh/mês)	Total (W)	Uso xmês(h)	Cons.(kWh/mês)	
SL 01	1920	112	215,04	728	112	81,54	
SL 02	1152	128	147,46	504	128	64,51	
SL 03	1536	160	245,76	560	160	89,60	
SL 04	1152	148	170,50	504	148	74,59	
SL 05	1920	164	314,88	728	164	119,39	
SL 06	1152	160	184,32	448	160	71,68	
SL 07	1152	128	147,46	448	128	57,34	
SL 08	1152	136	156,67	448	136	60,93	
SL 09	1536	168	258,05	672	168	112,90	
SL 10	2304	144	331,78	840	144	120,96	
SL 11	1152	100	115,20	504	100	50,40	
SL 12	2600	132	343,20	616	132	81,31	
SL 13	1152	112	129,02	560	112	62,72	
SL 14	1152	160	184,32	504	160	80,64	
SL 15	1536	168	258,05	672	168	112,90	
	22568	2120	3201,70	8736	2120	1241,41	

Tabela 4.9. – Consumo de Energia Elétrica Estimado, Atual e Após Retrofit

Para as áreas de circulação, foi realizado o mesmo estudo; porém, tais áreas são atendidas por conjuntos de luminárias de sobrepor, com 02 lâmpadas, com potências variando entre 40W e 32W. O sistema de iluminação permanece ligado 24 horas por dia, todos os dias da semana.

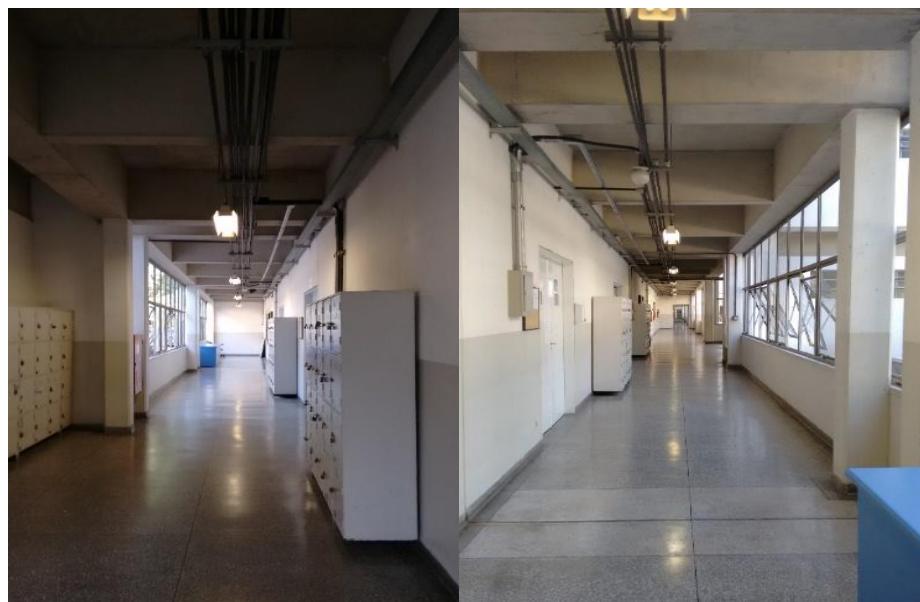


Foto 4.1. – Fotos à esq. Fachada NE; à dir. Fachada SO

A Potência total instalada para atendimento das áreas de circulação é de aproximadamente 3.200W, considerando uma área de 385 m².

Adotando-se uma iluminância na Faixa A, de 100 lux e substituindo a luminária existente por outra com as mesmas características da que foi sugerida para as áreas internas; porém, de modelo TCS, de sobrepor, chegamos a uma quantidade de 16 luminárias, com 02 lâmpadas T5 de 28W, potência instalada de 896W e redução de mais de 70% em infraestrutura.

4.2. AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

A fachada de implantação da edificação (NE/SO), proporciona boa ventilação natural; o edifício foi projetado para funcionar com ventilação cruzada, promovida pela existência de aberturas em sentidos opostos. Apenas uma das salas não possui ventilação natural (SL01), em virtude do fechamento das aberturas por meio de sistema fixo; esta sala está equipada com microcomputadores e por questões de segurança, o sistema de caixilharia foi mudado. Foram removidos os vidros comuns de 4mm e instalados vidros laminados de 6mm e caixilhos fixos.



Foto 4.2. – Implantação da Edificação; localização das salas de aula.

As correntes de ar também possuem alguns obstáculos representados pela rugosidade do terreno e pela grande quantidade de árvores de grande porte no entorno da edificação, as quais por outro lado, contribuem para a redução da carga térmica por consequência do sombreamento que proporcionam.

Todas as salas possuem ventiladores de teto, à exceção das salas destinadas às disciplinas ministrada com o uso de computadores SL 01, SL 02 e SL14; tais equipamentos operam em circuito distinto das luminárias, realizando a operação de ventilação e de exaustão, de acordo com o acionamento do comando respectivo no interruptor.

No entanto, os levantamentos das condições ambientais, relacionados à temperatura e umidade dos ambientes, indicam que todas as salas estão fora do padrão de conforto ($T < \text{ou} = 23^\circ\text{C}$).

Atualmente, as salas SL 01, SL 02 e SL 14, estão atendidas pelos seguintes equipamentos:

SL 01 – 02 ares condicionados, tipo piso teto, capacidade 36.000 BTUs, ciclo só frio;

SL 02 – 02 ares condicionados, tipo janela, capacidade 18.000 BTUs, quente e frio;

SL 14 – 02 ares condicionados, tipo Split piso teto, capacidade de 24.000 BTU's

Para avaliação do sistema, foi realizado um levantamento das cargas térmicas de todas as salas de aula, comparando-se posteriormente o perfil de uso e consumo hipotético atual; as necessidades reais de refrigeração dos ambientes e as alternativas para aumento de eficiência energética, considerando as condições ideais de refrigeração. Os parâmetros de conforto para temperatura e ventilação estão definidos na NBR 16401, que estabelece em linhas gerais, uma faixa de temperatura entre 23 e 26°C, para uma umidade relativa de 35% e de 21,5 a 25,5 ° C para uma umidade de 65%; este número é coerente com a Norma Regulamentadora 17, que estabelece uma faixa de temperatura entre 20 e 23°C e umidade do ar não inferior a 40%. A coleta de dados referente à temperatura (SESMT) indicou que uma faixa entre 26 e 32°C no verão para as salas localizadas na fachada NE (Ala Central e Ala II).

4.2.1. Levantamento de cargas térmicas – Ganhos de Calor

4.2.1.1. Pessoas – Foram considerados 63W de calor sensível e 52W de calor latente por pessoa (Anexo 01). Desse modo foram obtidos os valores expressos na Tabela 4.10 para as Salas SL01, SL02 e SL14, multiplicando-se pelo número de pessoas, 73, 19 e 17, respectivamente, considerando-se lotação máxima das salas.

4.2.1.2. Infiltração – A Sala SL14 foi considerada no cálculo como caixilho calafetado, uma vez que as janelas não possuem frestas para o ambiente externo. Fator que precisará ser corrigido com a instalação de exaustores; porém, não fazem parte desta abordagem. Assim sendo, para esta sala, o ganho térmico por infiltração não foi considerado.

Para o cálculo de infiltração na Sala SL01 (NE), foram admitidas as temperaturas de 34°C(externa) e 26°C(interna); URe de 65% (0,0128 kg.v por kg a.s) e Uri 50% (0,010 kg.v por kg a.s).

A metodologia de cálculo adotada foi a do *método das fendas*, por conduzir a estimativas mais precisas. Para efeito de cálculo, foi adotada velocidade do vento “v” = 3,4m/s e infiltração de 1,5 m³/h por metro de caixilho (Anexo 2 – Tabela 3-21 Trane).

A Sala SL 01 possui 08 caixilhos de 0,88mx1,50m (basculantes). Assim, aplicando-se o método das fendas, temos que:

$$Q_s = 1200 \times F (t_0 - t_1) \quad (2); \text{ onde:}$$

Q_s = Calor sensível, em watt

F = Fuga total por fenda (m³/s)

t_0 = temperatura do ar exterior, °C

t_1 = temperatura do ar na sala, °C

$$F = [(2 \times 0,88m) + (2 \times 1,5m)] \times 1,5 \text{ m}^3/\text{h/m}$$

$$F = 25,62/3600 = 0,0071 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calor Latente

$$Q_L = 3,4 \times 10^6 \times F \times (U_{Re} - U_{ri}) \quad (3), \text{ onde:}$$

Q_L = Calor latente;

U_{Re} = Umidade Relativa do Ar Exterior, em kg de vapor/kg de ar seco;

$Uri = \text{Umidade Relativa do Ar da Sala, em kg de vapor/kg de ar seco;}$

$$Q_L = 3,4 \times 10^6 \times 0,0071 \times (0,0128 - 0,010); \quad Q_L = 95 \text{ W}$$

Portanto, o calor total ganho por infiltração, na sala SL02 é de 163 W

Adotando-se o mesmo roteiro de cálculo para a sala SL14; porém, com uma temperatura interna de 23° C e a parcela de UR nula (Uri de 65%). A referida sala possui 8,5 caixilhos e é voltada para o SO. Foram obtidos os seguintes valores:

$$Q_s = 107 \text{ W} \text{ e } Q_L = 0$$

Portanto, o calor total ganho por infiltração, na sala SL14 é de 107 W

4.2.1.3. Ganho de Calor pelos Equipamentos

Para o cálculo do ganho de calor pelos equipamentos foram adotados os valores de potência médios, de acordo com as tabelas disponibilizadas no site da Procel, sendo considerado para efeito de cálculo que o ganho de calor é de 60% da potência dos equipamentos. Todas as salas são equipadas com projetores, cuja potência é de 239W; a sala SL01 possui dois televisores LED, cuja potência é de 243,6W, 34 notebooks, com potência de 20W. A sala SL02 possui 17 computadores desktop com monitores, cuja potência somada é de 58W por conjunto. A sala SL14 possui 19 computadores desktop com monitores e uma impressora de 1130W.

O ganho de calor obtido por meio dos equipamentos está registrado na Tabela 4.10.

4.2.1.4. Ganho de Calor pela Iluminação

As luminárias são compostas por lâmpadas e reatores e apesar da eficiência das lâmpadas fluorescentes, toda a luz emitida é transformada em calor. Os reatores também transmitem calor para o ambiente, assim sendo, a potência nominal das lâmpadas é multiplicada por 125% para que seja obtida a parcela de calor representada pela iluminação que é acrescentada ao ambiente. Os valores foram calculados com base na potência atual das lâmpadas, ou seja 80W por luminária, já considerada a carga térmica do reator.



Foto 4.3. – Acima, à esquerda, SL 14; abaixo, SL 02; à direita SL 01

4.2.1.5. Ganho de Calor - Envoltória

O cálculo do ganho de carga térmica por meio dos fechamentos transparentes e fechamentos opacos, seguiu o seguinte roteiro:

4.2.1.5.1. Levantamento das características construtivas dos ambientes:

SL 01 – Fachada NE

- Espessura da parede “e” = 200mm
- Revestimento = Agregado leve
- Cor = Clara
- Tipo de vidro = laminado 6mm
- Elemento de sombra = sim, brise metálico, coeficiente = 0,12
- Sombra interior = parcial (persiana leve, 0,60m de altura na parte superior do vidro); coeficiente 0,39
- Película = não
- Chapa absorvedora = sim, coeficiente 0,80

SL 01 – Fachada NO

- Espessura da parede “e” = 200mm

- Revestimento = Agregado leve
- Cor = Branca

SL 02 – Fachada NE

- Espessura da parede “e” = 200mm
- Revestimento = Agregado leve
- Cor = Clara
- Tipo de vidro = comum 4mm
- Elemento de sombra = sim, brise metálico
- Sombra interior = persiana média, todo o vão
- Película = sim, coeficiente 0,86
- Chapa absorvedora = não

SL 14 – Fachada SO

- Espessura da parede “e” = 200mm
- Revestimento = Agregado leve
- Cor = Escura
- Tipo de vidro = comum 4mm
- Elemento de sombra = não
- Sombra interior = persiana média, todo o vão
- Película = sim, coeficiente 0,86
- Chapa absorvedora = não

4.2.1.5.2. Determinação dos coeficientes de transmissão (U) dos fechamentos opacos e transparentes, de acordo com os materiais construtivos.

Foi adotada a Tabela 3.5. (Anexo)

4.2.1.5.3. Determinação dos Diferencias de Temperatura Total Equivalente (EqDT), de acordo com a Latitude (Sul), cor exterior e Hora Solar.

Foi adotada a Tabela 3.41(Anexa)

4.2.1.5.4. Roteiro de cálculo adotado (Manual da Trane) porém utilizando-se as tabelas de cálculo para radiação direta e difusa elaboradas pelo IAG/IPT (Anexo) por conta da latitude de São Paulo.

O ganho total de calor das salas condicionadas, proveniente dos fechamentos opacos e transparentes, ficou assim determinado:

SL01

Fachada NE – Fechamento opaco (Parede 200mm) - 10h00

$$Q = (14,24 \times 0,8) \times 1,70 \text{ (Tabela 3.5)} \times 2 \text{ (Tabela 3.41)}$$

$$Q = 38,7W$$

Fachada NE – Fechamento Transparente (Vidro laminado 6mm) – 10h00

$$Q = (14,24 \times 0,6) \times ((383 \times 0,20 \text{ (fator de sombra)}) + (113 \times 0,62 \text{ (persiana)}) \times 0,80 \text{ (chapa absorvedora)})$$

$$Q = 1133,34 W$$

$$Q = (14,24 \times 1,5) \times ((383 \times 0,20 \text{ (fator de sombra)}) + (113 \times 0,80 \text{ (chapa absorvedora)}))$$

$$Q = 3567,12W$$

$$Q = 38,7W + 1133,34W + 3567,12 = 4739,16 W$$

Fachada NO – Fechamento Opaco – 10h00

$$Q = (7,06 \times 2,7) \times 1,7 \text{ (Tabela 3.5)} \times 2 \text{ (Tabela 3.41)}$$

$$Q = 64,8W$$

$$Qt = 4739,16W + 64,8W$$

$$Qt_{SL1} = 4803,96 W$$

SL 02**Fachada NE – Fechamento opaco - 10h00**

$$Q = (7,03 \times 0,8) \times 1,70 \text{ (Tabela 3.5)} \times 2 \text{ (Tabela 3.41)}$$

$$Q = 19,12W$$

Fachada NE – Fechamento Transparente – 10h00

$$Q = (7,03 \times 2,10) \times ((383 \times 0,20 \text{ (fator de sombra)}) + (113 \times 0,39 \text{ (persiana)}))$$

$$Q = 1781,45 W$$

$$Q = 19,12W + 1781,45W = 1800,57W$$

SL 14**Fachada SO – Fechamento Opaco - 14h00**

$$Q = (7,485 \times 0,8) \times 1,70 \text{ (Tabela 3.5)} \times 2 \text{ (Tabela 3.41)}$$

$$Q = 20,4W$$

Fachada SO – Fechamento Transparente – 14h00

$$Q = (7,485 \times 2,10) \times ((30) + (144 \times 0,39 \text{ (persiana)}))$$

$$Q = 1354,3W$$

$$Qt = 20,4W + 1354,3W$$

$$Qt_{SL1} = 1374,7W$$

Local	Pessoas	Infiltração	Equipamentos	Iluminação	Envoltória	Total
SL 01	8395	0	844	2400	4804	16443
SL 02	2185	163	1109	1440	1801	6398
SL 14	1955	107	1483	1440	1374	6359

Tabela 4.10. – Quadro Resumo de Gанho de Calor

A Sala SL 01 pode ser atendida por dois equipamentos Split piso-teto com capacidade de 30.000 BTU's. Atualmente, a sala possui dois equipamentos do tipo Split-piso teto de 36.000 BTU's instalados.

A Sala SL 02 deveria ser atendida por um equipamento split high wall (parede) com capacidade de 30.000 BTUs ou por dois equipamentos de 12.000 e 18.000 BTUs, levando-se em conta uma melhor distribuição da refrigeração no ambiente. Atualmente, a sala possui dois equipamentos de ar condicionado do tipo janela de 10500 BTU's instalados. Ou seja, aquém da necessidade de refrigeração calculada.

A Sala SL 14 poderia ser atendida por dois equipamentos split high wall com capacidade de 12000 BTUs. Atualmente, a sala possui dois equipamentos do tipo split high wall de 24000 BTUs instalados, ou seja, o dobro de TRs necessárias.

Para efeito de cálculo foram consideradas as potências atuais das luminárias, ou seja, a adoção de uma iluminação mais eficiente contribuirá para a redução de calor e consequentemente para a redução da carga térmica necessária para refrigerar o ambiente.

A substituição dos equipamentos existentes por outros dimensionados dentro da real demanda das salas geraria uma economia direta de 24000 BTUs ou cerca de 7000W, que para um uso médio de 80 horas mensais, representa um consumo de 560kWh/mês que seria evitado.

No entanto, percebemos pela análise da Tabela 4.10, que depois do ganho de calor pelas pessoas, o fator que mais contribui para o aumento da carga térmica é a envoltória, neste caso representada pela implantação da edificação e dos seus elementos construtivos.

4.3. AVALIAÇÃO DA ENVOLTÓRIA

Uma vez que a edificação já está construída, qualquer alteração mais drástica na fachada acarretará grandes investimentos, sem que haja necessariamente grandes ganhos de eficiência na questão energética. Esta afirmação está baseada no levantamento de custos realizado, por exemplo, para a substituição integral dos paramentos verticais. A substituição integral de todos os *brisés-soleil* representaria

um investimento tão expressivo que o payback simples calculado seria de aproximadamente 11 anos.

A proteção solar externa (*brise-soleil*) instalada na fachada NE possui um fator solar de sombra que poderia reduzir a carga térmica em até 20% para a radiação direta. No entanto, a proteção externa é ineficiente na parte superior, permitindo a passagem de grande quantidade de luz para o interior, principalmente nos horários de maior radiação (Foto 09). Para que possua eficiência total nos horários de maior insolação, o desenho da máscara indica a necessidade de extensão na superfície vertical do paramento, formando 90° com a fachada. Atualmente a inclinação é de 45°.

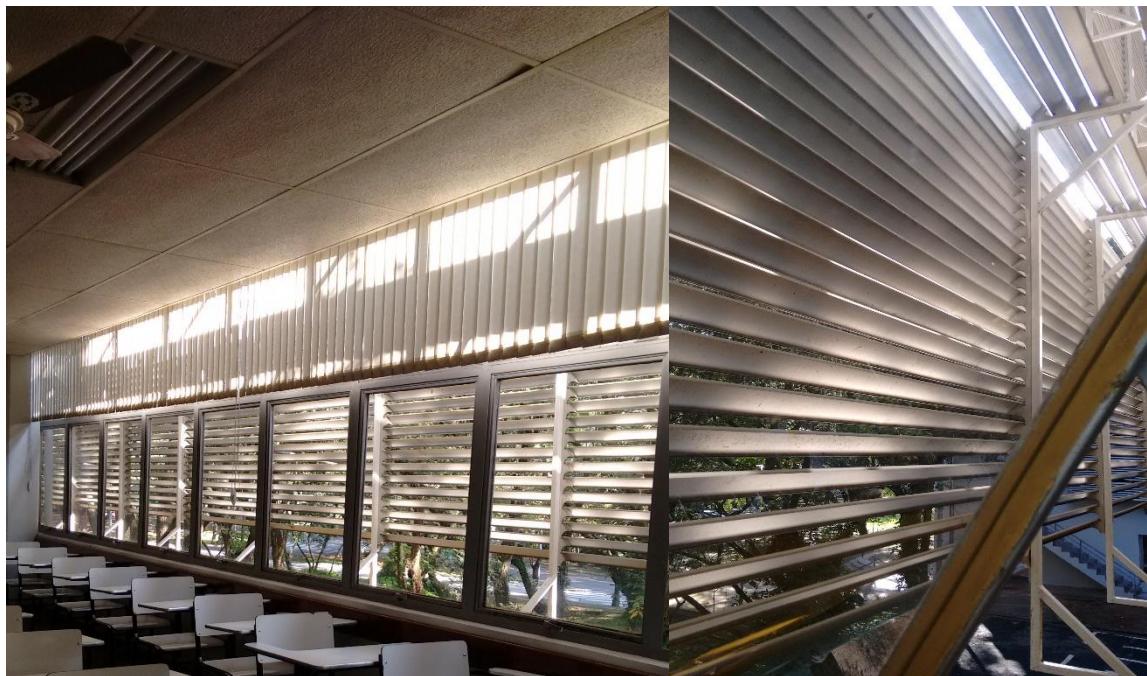


Foto 5.1. - Passagem de Radiação pelo Brise-Soleil (NE, Horário: 10h00)

As persianas internas possuem coeficientes de atenuação que variam de 39 a 80%, de acordo com o material, cor e tipo de persiana.

Todas as salas são constituídas de vidros lisos comuns, translúcidos. No item de levantamento de cargas térmicas, uma parcela expressiva de ganho de calor pode ser reduzida pela instalação de vidros absorventes de maior espessura ou pelo emprego de película de proteção nos vidros (apenas radiação direta).

A ventilação nos ambientes é praticamente nula, de acordo com os dados levantados no estudo. Porém, a introdução de grelhas de ventilação na parte inferior das portas traria benefícios na redução da carga térmica das salas localizadas na fachada NE, pela troca de calor com o ar do corredor, mais frio. Por outro lado, as salas localizadas na fachada SO são prejudicadas por este efeito e, para atenuação, seria importante a instalação de protetores solares nas janelas localizadas no corredor paralelo a estas salas.



Foto 5.2. – A Ausência de proteção passiva ocasiona radiação direta sobre as paredes - SO

5. DISCUSSÃO

5.1. Iluminação

Conforme verificado nos cálculos luminotécnicos, pode-se chegar a uma redução de consumo de energia de mais de 60%, com a adoção de luminárias e lâmpadas mais eficientes. Poderá estar associada a esta alteração dos ambientes internos a alteração também da iluminação das áreas de circulação com a introdução de sensores interligados às fotocélulas, cujo acionamento na faixa de horário entre 24h00 e 6h00 estará associado apenas com presença de movimento local.

A instalação de um novo forro modular, de cor branca, é fundamental para aumento do fluxo luminoso total. O forro atual é claro, porém, não é de cor branca. O investimento necessário está descrito na Tabela 5.1.

5.2. Sistema de Ar Condicionado

Considerando a demanda por refrigeração na edificação, as alternativas para condicionamento de ar são a adoção de sistema de expansão direta, do tipo Split high wall. Os equipamentos de ar condicionado janela, mesmo os mais modelos mais eficientes e apesar do investimento inicial menor, apresentam um consumo de energia maior para maiores capacidades de refrigeração, sendo atrativos apenas quando se trata de demanda menores, até 12000 BTUs.

O investimento necessário para a instalação do sistema consta na Tabela 5.1. A eficiência da aplicação poderá ser otimizada por meio da redução da carga térmica que for possível: redistribuição de ambientes; ajuste dos protetores solares; instalação de persianas mais eficientes; ajustes em aberturas; instalação de exautores nos locais onde for necessário reduzir a carga térmica representada pela infiltração, dentre outras soluções abordadas no próximo item.

5.3. Envoltória

A proteção interna da sala SL01 pode ser melhorada, significando uma redução da radiação solar, por meio da instalação de persianas com lâminas finas, de cor clara, que cubram todo o vão. A instalação de películas refletivas também auxiliaria na redução do ganho de calor por radiação direta. O *brise-soleil* pode ser ajustado na parte superior, instalando-se uma placa infinita, sobreposta à estrutura existente, formando a máscara ideal para o horário com incidência de radiação mais intensa sobre a fachada (9h00 às 10h00).

De acordo com os levantamentos realizados, a alternativa que ofereceria uma redução mais representativa de ganho térmico, seria a realocação de ambientes que possuem menor carga térmica associada a equipamentos e pessoas, representados pelas salas de apoio e departamentais, para a fachada NE e instalação das salas dedicadas ao ensino com uso de computadores para a fachada SO. As salas de informática SL01 e SL02 poderiam ser transferidas para a fachada SO, onde localiza-se a SL 14, tais salas são utilizadas essencialmente nos primeiros horários da manhã, quando não ocorre radiação direta nesta orientação ou à noite, após as 19h00.

5.4. Investimentos

Descrição	Un.	Quant.	Custo	Total
Luminária retangular de embutir tipo calha fechada com difusor plano em acrílico para 2 lâmpadas fluorescentes tubulares de 28/32/36/54W	un	161	111,69	17982,09
Forro em poliestireno expandido com textura acrílica, espessura de 20 mm	m ²	890	9,42	8383,8
Ar condicionado a frio, tipo split parede, capacidade de 18.000 BTU/h	cj	2	2.786,82	5573,64
Retirada de aparelho de ar condicionado portátil	un	2	12,99	25,98
Película de controle solar refletiva para aplicação em vidro	m ²	220	25,8	5676
Sensor de presença para teto, com fotocélula, para lâmpada qualquer	un	12	33,41	400,92
Brise em placa cimentícia, montado em perfil e chapa metálica	m ²	52	171,03	8893,56
				46935,99

Tabela 5.1. – Custo de Investimento; *Fonte: Boletim CPOS Março/2015*

O investimento necessário para a aplicação das medidas de redução de consumo de energia contempla a introdução de um sistema de iluminação mais eficiente, representado pela substituição das luminárias existentes por outras que atendam ao coeficiente de utilização previsto em cálculo. Não foram considerados no investimento reatores e lâmpadas pois entende-se que tais elementos são insumos, que são substituídos rotineiramente, de acordo com a vida útil prevista nas especificações de cada produto. No entanto, pode-se considerar em um cálculo mais minucioso o número de horas previsto para as lâmpadas, considerando-se os dados fornecidos pelo fabricante; observando-se então que produtos que possuem maior eficiência, como é o caso das lâmpadas T5, possuem uma vida útil maior que os atualmente instalados.

A fim de se obter uma total coerência com os estudos elaborados, propõe-se também a troca das placas de forro, adotando-se como critério o atendimento da premissa de cálculo considerando-se forro branco, paredes claras e piso escuro. Este parâmetro é essencial para que se obtenha um resultado de aplicação mais aproximado da estimativa obtida por meio dos cálculos. Não está sendo prevista a remoção da estrutura de sustentação, que poderá ser necessária caso se verifique inadequações quando da montagem do novo esquema de distribuição luminotécnica. Está sendo proposto um forro em poliestireno expandido por ser um produto de fácil aplicação e manutenção de estoque, cujas espessura é bastante semelhante ao atualmente instalado. Considerando-se que não foram abordados os cálculos de ganho de calor por meio da laje, pois o piso de estudo é intermediário, a diferença do ganho de calor representado pela substituição do material de revestimento é pouco expressiva, de acordo com as tabelas pesquisadas.

Com relação ao custo apresentado na solução de refrigeração, considerou-se todos os resultados obtidos, dispostos na Tabela 4.10, ou seja, os equipamentos orçados seguiram as seguintes premissas:

1. Os equipamentos de refrigeração propostos serão adotados de acordo com os cálculos de carga térmica;
2. Os cálculos de carga térmica, consideradas as medidas propostas ficaram assim definidos:

Local	Pessoas	Infiltração	Equipamentos	Iluminação	Envoltória	Total
SL 01	8395	0	844	980	2615	12834
SL 02	2185	163	1109	700	1291	5448
SL 14	1955	107	1483	700	1374	5619

Tabela 6.2. – Cargas Estimadas Pós-Retrofit

3. Os modelos adotados são todos splits high-wall e piso teto, de acordo com as dimensões dos ambientes de estudo;
4. A capacidade proposta leva em conta os ajustes no sistema de iluminação;
5. A capacidade proposta leva em conta a transferência das salas com equipamentos de informática para a fachada SO, adotando-se medidas de

- proteção contra a radiação direta e instalação de proteção passiva em paredes adjacentes;
6. Não está sendo considerada uma nova aquisição de equipamentos, mas o aproveitamento de equipamentos que atendem às capacidades calculadas para cada ambiente, adquirindo-se apenas os que forem necessários.
 7. Não foram calculados valores de remanejamento dos equipamentos que não serão mais aproveitados, ou seja, dois equipamentos do tipo janela de 10.500 BTUs e dois equipamentos piso teto de 36000 BTUs, acima da capacidade de cálculo.
 8. Está sendo considerada a retirada de equipamento janela do caixilho para que possa ser instalada a persiana adequada na sala em questão, reconstituindo-se de forma integral o ambiente.

A instalação de película de controle destina-se à todas as áreas envidraçadas. Embora atualmente haja alguns vidros com este tipo de proteção passiva instalada, considerou-se a perda de eficiência deste material com o passar dos anos e a necessidade de instalar uma película de controle solar que promova o aproveitamento da iluminação natural, o que não ocorre na instalação atual, já bastante desgastada e escura. No cálculo de carga térmica, a quantidade de radiação bloqueada pode chegar a 12% por meio da utilização deste elemento. Porém, a instalação de vidros absorvedores, foi descartada, pois o impacto no investimento resultaria no aumento do payback em mais três anos, apenas considerando-se o custo do material e mão de obra para instalação; ocorre que o sistema de caixilharia não comporta um vidro mais espesso do que 4mm, devido à espessura dos baguetes, ou seja, para que a medida fosse adotada, seria necessário uma reforma do caixilho, instalando um novo sistema de fixação dos vidros, tornando o investimento pouco atrativo.

Na planilha de investimento também foram considerados os custos referentes à correção do *brise-soleil*, por meio da instalação de uma placa cimentícia no plano horizontal, bloqueando a passagem da radiação, sem prejuízo da iluminação natural. Esta medida está prevista na fachada NE, nas duas linhas de janelas voltadas para esta orientação, ou seja, as janelas voltadas para a via e aquelas voltadas para o pátio interno, responsáveis pelo aumento da radiação na parede que divide a área de circulação da sala 14 e demais salas localizadas na fachada SO (foto 5.2).

6. CONCLUSÃO

Ao final desta monografia, concluiu-se que de acordo com os cálculos realizados, inicialmente para ajuste do sistema de iluminação e após considerando os aspectos de ocupação e envoltória, é possível obter uma redução expressiva do consumo de energia na edificação.

Pela ausência de medidores setorizados no edifício que possibilitem o acompanhamento de consumo, não foi possível obter dados de consumo real de energia, realizando-se os cálculos apenas com base nos dados técnicos da infraestrutura atual. Porém, esta mesma metodologia foi empregada para a obtenção dos dados de consumo após a adoção das medidas propostas, proporcionando confiabilidade ao conjunto dos estudos realizados.

A instalação de um sistema de medição setorizada seria de fundamental importância para o edifício em estudo quando da implantação de algumas medidas propostas, como a correta programação do esquema de funcionamento dos sensores e a demanda real dos sistemas de refrigeração.

Conforme foi explanado no item 5, muitas das medidas ideais de redução do consumo não são atrativas por conta do tempo de recuperação do investimento, se considerada apenas a questão consumo de energia, sendo, todavia, importante sob o ponto de vista da eficiência energética. Os edifícios públicos, que respondem por uma parcela significativa de consumo de energia, nos quais os sistemas de refrigeração e iluminação correspondem a quase 50% deste consumo estão englobados fortemente nas ações de qualificação de empreendimentos e seus gestores deverão aplicar no curto prazo uma série de medidas que contemplem os critérios das legislações já publicadas.

Neste estudo procurou-se adotar as medidas mais viáveis econômica e tecnicamente, que gerassem um resultado factível no curto prazo e com um payback ajustado ao plano de gestão correspondente ao presente estudo de caso. Por este motivo, as medidas selecionadas buscaram proporcionar um payback inferior a 04 (quatro) anos, que é o período de uma gestão completa no Órgão em questão.

Considerando-se uma tarifa de energia de 308,00 R\$/kWh (Pure – USP) e o investimento de R\$ 46.935,99, cujo detalhamento está elencado na Tabela 5.1., com um consumo de energia evitado da ordem de 12.352 kWh/ano, chegou-se a um payback de 3 anos e nove meses, com um cronograma de implantação de 30 dias.

Portanto, o resultado final, ainda que de ordem empírica, é economicamente viável e factível para a realidade do empreendimento e aplicação proposta, apresentando ganho significativo na qualidade do ambiente sob o ponto de vista de ergonomia e conforto térmico; atendendo à necessidade inicial do cliente identificada por meio de diagnóstico e à premissa fundamental do objetivo do estudo que é a aplicação das ferramentas teóricas para ganho de eficiência energética na edificação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – NBR 5413 Rio de Janeiro (1982).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – NBR 5461-TB-23. Rio de Janeiro (1991).
- ARAUJO, A.P.R. O conforto ambiental no planejamento da qualidade dos ambientes escolares: Estudo de Caso do Colégio Sagrado Coração de Maria (1999) In: KOWALTOWSKI, D.C.C.K. (2011).
- BRUAND, Yves – Arquitetura contemporânea no Brasil/Yves Bruand; São Paulo: 2012
- CREDER, Hélio – Instalações Elétricas – 15.^a Ed. - Rio de Janeiro: LTC (2007)
- FERREIRA J.J.; FERREIRA T.J. – Economia e Gestão da Energia; Ed. Texto, Lisboa (1994).
- FROTA, Anésia Barros – Manual de Conforto Térmico : arquitetura, urbanismo/Anésia Barros Frota, Sueli Ramos Schiffer – 5.^a Edição - São Paulo, Studio Nobel (2001).
- GRAÇA, V.A.C. da; SCARAZZATO, P.S.; KOWALTOWSKI, D.C.C.K. Método simplificado para a avaliação de iluminação natural em anteprojetos de escolas de ensino estadual de São Paulo. In: KOWALTOWSKI, D.C.C.K.(2011)
- Informe Mensal PUREUSP (2012)
- INMETRO – Portaria N.^º 372/2001
- KOVALTOWSKI, Doris C. C. K. – Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino/Doris C.C.K. Kowaltowski – São Paulo (2011).
- LABAKI, L.C.; BUENO-BARTHOLOMEI, C.L. Avaliação do conforto térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública, Campinas – SP. In: ENCAC-2001,2001, São Pedro (SP). *Anais...São Pedro (SP), 11-14 nov.2001.1 CD-ROM.*
- LAMBERTS, Roberto – Eficiência Energética na Arquitetura, São Paulo (1997);

- LOVINS, Amory B. – Reinventando o fogo: soluções ousadas de negócios na nova era da energia/Amory B. Lovins e Rocky Mountain Institute – São Paulo (2013)
- Manual de Ar Condicionado TRANE (1980)
- MORALES, Clayton – Indicadores de Consumo de Energia Elétrica como Ferramentas de Gestão : Classificação por Prioridades de Atuação na Universidade de São Paulo, Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para Obtenção de Título de Mestre em Engenharia (2007).
- MORI, Fabiano Kiyoshi – Análise da Eficiência Energética da Envoltória de um Projeto Padrão de uma Agência Bancárias em Diferentes Zonas Bioclimáticas Brasileiras – Dissertação apresentada à Universidade Tecnológica Federal do Paraná para Obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil (2012).
- OLOFSSON, T.; MEIER, A.; LAMBERTS, R. Rating the Energy Performance of Buildings. **International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings**, v. 3, p. 1-18, 2004. In: MORI, F. K.
- REIS, L. B. dos; ROMÉRO, M. de A. – Eficiência Energética em Edifícios – Série Sustentabilidade (2014).
- ROMERO, M. de A.; ORNSTEIN, S. W. (editores e coordenadores) *Avaliação Pós-Ocupação. Métodos e técnicas aplicados à habitação social*. Porto Alegre: ANTAC, 2003, 294p. (Coleção HABITARE/ FINEP).
- ROSA, L.P. – Uma Reputação Empírica do Modelo Neoliberal. In: LESSA, Carlos (Org.). O Brasil à Luz do Apagão – Rio de Janeiro. Palavra & Imagem (2001).
- SILVA V. G. – Avaliação de Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros : Diretrizes e Bases Metodológicas. Dissertação Apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para Obtenção de Título de Doutor (2003).

Sites Consultados

- <http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/4703/2467>

- http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/pasta-para-arquivar-dados-do-pes/Plano_Nacional_de_Eficiencia_Energetica.pdf
- http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed74_fasc_sistemas_iluminacao_cap3.pdf
- <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>
- <http://www.ufjf.br/ramoieee/files/2010/08/Manual-Luminotecnica.pdf>
- [http://www.valor.com.br/brasil/3504250/custo-das-termicas-ja-beira-r-10-beste-ano \(acessado em 10/04/2015\)](http://www.valor.com.br/brasil/3504250/custo-das-termicas-ja-beira-r-10-beste-ano)
- https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf
- <http://terraramagazine.terra.com.br/interna/0,,OI1877652-EI6586,00.html>
- http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/Analise_economica.pdf

ANEXOS

Anexo 01 - Tabela 3.5. (Manual de Ar Condicionado – TRANE)

TABELA 3.5 – COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO (U) DE PAREDES DE ALVÉNARIA SÓLIDA

Estes coeficientes são expressos em $\text{W}/\text{h} \times \text{m}^2 \times {}^\circ\text{C}$, diferença de temperatura em graus Celsius entre o ar nos dois lados), e baseiam-se numa velocidade de vento de 6,7 m/s.

CONSTRUÇÃO EXTERIOR ³	MATERIAL	RESISTÊNCIA	NENHUMA	ACABAMENTO INTERIOR										NÚMERO		
				GESSO (16 mm) NA PAREDE		RIPA MET. E GESSO DE (20 mm) NO FORRO		RIPAS DE GESSO (10 mm) E GESSO DE 13 mm NO FORRO			RIPAS DE PLACA ISOLADORA (13 mm) E GESSO DE 13 mm NO FORRO		RIPAS DE MADEIRA E GESSO DE 13 mm			
				AGR. AREIA	AGR. LEVE	AGR. AREIA	AGR. LEVE	SEM GESSO	AGR. AREIA	AGR. LEVE	SEM GESSO	AGR. AREIA	AGR. AREIA			
				0,02	0,07	0,02	0,08	0,06	0,07	0,11	0,25	0,27	0,07			
			R	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U			
				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		
TIJOLO (FACE E COMUM) ⁴																
(150 mm)		0,11	3,86	3,64	3,07	2,22	1,93	2,04	1,99	1,87	1,48	1,42	1,99	1		
(200 mm)		0,22	2,73	2,56	2,33	1,76	1,59	1,70	1,65	1,53	1,25	1,25	1,66	2		
(300 mm)		0,36	1,99	1,87	1,70	1,42	1,31	1,36	1,31	1,25	1,08	1,08	1,31	3		
(400 mm)		0,50	1,53	1,48	1,42	1,19	1,08	1,14	1,14	1,08	0,91	0,91	1,14	4		
TIJOLO (SÓ COMUM)																
→(200 mm)		0,28	2,33	2,22	1,99	1,59	1,48	1,53	1,48	1,42	1,19	1,14	1,48	5		
(300 mm)		0,42	1,76	1,70	1,53	1,31	1,19	1,25	1,25	1,19	1,02	0,97	1,25	6		
(400 mm)		0,50	1,42	1,36	1,31	1,08	1,02	1,08	1,02	1,02	0,91	0,85	1,02	7		
PEDRA (CAL E AREIA)																
(200 mm)		0,11	3,81	3,58	3,01	2,22	1,93	2,04	1,99	1,82	1,48	1,42	1,99	8		
(300 mm)		0,17	3,12	2,95	2,56	1,93	1,76	1,82	1,76	1,65	1,36	1,31	1,76	9		
(400 mm)		0,23	2,67	2,56	2,27	1,76	1,59	1,65	1,59	1,53	1,25	1,25	1,66	10		
(600 mm)		0,34	2,04	1,99	1,82	1,48	1,36	1,42	1,36	1,31	1,08	1,08	1,36	11		
TELHA OCA DE BARRO																
(200 mm)		0,33	2,04	2,04	1,82	1,48	1,36	1,42	1,42	1,31	1,14	1,08	1,42	12		
(250 mm)		0,39	1,87	1,76	1,65	1,36	1,25	1,31	1,25	1,19	1,02	1,02	1,31	13		
(300 mm)		0,44	1,70	1,65	1,53	1,25	1,19	1,25	1,19	1,14	0,97	0,97	1,19	14		
CONCRETO VAZADO																
480 kg/m ³																
(100 mm)		0,78	1,08	1,08	1,02	0,91	0,85	0,85	0,85	0,80	0,74	0,74	0,85	15		
(150 mm)		1,17	0,74	0,74	0,74	0,68	0,62	0,62	0,62	0,62	0,57	0,57	0,62	16		
(200 mm)		1,56	0,57	0,57	0,57	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,45	0,45	0,51	17		
(250 mm)		1,95	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,45	0,45	0,40	0,40	0,40	0,45	18		
1280 kg/m ³																
(150 mm)		0,42	1,76	1,70	1,53	1,31	1,19	1,25	1,25	1,19	1,02	0,97	1,25	19		
(200 mm)		0,56	1,42	1,36	1,31	1,08	1,02	1,08	1,02	1,02	0,91	0,85	1,02	20		
(250 mm)		0,70	1,19	1,14	1,08	0,97	0,91	0,91	0,91	0,85	0,80	0,80	0,91	21		
(300 mm)		0,85	1,02	0,97	0,97	0,85	0,80	0,80	0,80	0,80	0,68	0,68	0,80	22		
2240 kg/m ³																
(150 mm)		0,08	4,26	3,92	3,29	2,33	2,04	2,16	2,10	1,93	1,53	1,48	2,10	23		
(200 mm)		0,11	3,81	3,58	3,01	2,22	1,93	2,04	1,99	1,82	1,48	1,42	1,99	24		
(250 mm)		0,14	3,46	3,24	2,78	2,04	1,82	1,93	1,87	1,76	1,42	1,36	1,87	25		
(300 mm)		0,17	3,12	2,95	2,56	1,93	1,76	1,82	1,76	1,65	1,36	1,31	1,76	26		
BLOCO DE CONCRETO (AGREGADO DE CASCALHO)																
(200 mm)		0,20	2,95	2,73	2,44	1,87	1,65	1,76	1,76	1,59	1,31	1,25	1,70	27		
(300 mm)		0,23	2,67	2,56	2,27	1,76	1,59	1,65	1,59	1,53	1,25	1,25	1,65	28		
(AGREGADO DE CINZA)																
(200 mm)		0,30	2,22	2,10	1,93	1,53	1,42	1,48	1,42	1,36	1,14	1,14	1,42	29		
(300 mm)		0,33	2,04	1,99	1,82	1,48	1,36	1,42	1,36	1,31	1,08	1,08	1,36	30		
(AGREGADO LEVE)																
(200 mm)		0,36	1,99	1,93	1,76	1,48	1,31	1,36	1,36	1,25	1,08	1,08	1,36	31		
(300 mm)		0,40	1,82	1,76	1,59	1,36	1,25	1,31	1,25	1,19	1,02	1,02	1,25	32		

³Se, ao aplicar estuque ou estrutura de vidro no exterior, o valor adicional de resistência terá um efeito insignificante no valor de U.

⁴Tijolo, 150 mm (133 mm real) supõe-se não ter encosto. As paredes 200, 300 e 400 têm 100 mm de tijolo de face e o resto de tijolo comum.

Anexo 02 – Tabela 3.21 – (Manual de Ar Condicionado – TRANE)

TIPO DE JANELA	DESCRÍCÃO DE JANELA	VELOCIDADE DO VENTO		
		m/s	3,4	6,7
SUSPENSÃO DUPLA, CAIXILHO DE MADEIRA (NÃO TRAVADA)	TOTAL PARA JANELA MÉDIA, NÃO CALAFETADA, FENDA DE 1,5 mm E FOLGA DE 1,0 mm IDEML, CALAFETADA TOTAL PARA JANELA MAL MONTADA, NÃO CALAFETADA, FENDA DE 2,5 mm E FOLGA DE 2,5 mm IDEML, CALAFETADA		1,3 0,7 4,5 1,2	3,6 2,2 10,3 3,2
SUSPENSÃO DUPLA CAIXILHO METÁLICO	NÃO CALAFETADA, TRANCADA NÃO CALAFETADA, NÃO TRANCADA CALAFETADA, NÃO TRANCADA		3,1 3,2 1,2	6,5 6,5 3,0
DE ENROLAR SEÇÃO CAIXILHO	INDUSTRIAL COM EIXOS, FENDA DE 1,5 mm ARQUITETURA PROJETADA, FENDA DE 1,0 mm ARMAÇÃO RESIDENCIAL, FENDA DE 0,8 mm SEÇÃO DE ARMAÇÃO PESADA, FENDA PROJETADA DE 0,8 mm		7,4 3,3 2,1 1,5	16,3 8,2 2,3 3,5

* Metros cúbicos de ar por hora por metro linear de fenda.

Anexo 03 - Tabela 3.31. (Manual de Ar Condicionado – TRANE)

TABELA 3.31 – COEFICIENTES DE SOMBRA – VIDRO SIMPLES E VIDRO TIPO ISOLANTE ¹ – SEM SOMBRA											
TIPO DE VIDRO	VIDRO SIMPLES					TIPO DE VIDRO	VIDRO ISOLADOR ¹				
	ESPES- SURA NOMI- NAL ²	TRANS- SOLAR ²	VIDRO AO SOL	VIDRO À SOMBRA	ESPES- SURA NOMI- NAL ^{2,3}	TRANS- SOLAR ⁷	VI- DRAÇA EXTER- IOR	VI- DRAÇA INTER- IOR	VIDRO AO SOL	VIDRO À SOMBRA	
FOLHA REGULAR	2,5,-3	0,86	1,00	1,00	CHAPA REGULAR EXTERNA CHAPA REGULAR INTERNA	2,5	0,86	0,86	0,90	0,84	
CHAPA REGULAR	6 10 13	0,80 0,75 0,71	0,95 0,91 0,88	0,95 0,91 0,88	CHAPA REGULAR EXTERNA CHAPA REGULAR INTERNA	6	0,80	0,80	0,83	0,77	
CHAPA ABS. DE CALOR ⁴	5	0,51	0,71	0,78	CHAPA ABS. CALOR ⁴ EXTERNA CHAPA REGULAR INTERNA	6	0,46	0,80	0,56	0,53	
CHAPA ABS. DE CALOR ⁴	6 10	0,46 0,34	0,67 0,57	0,74 0,64	CHAPA ABS. CALOR ⁴ EXTERNA CHAPA REGULAR INTERNA	6	0,46	0,80	0,56	0,53	
VIDRO CINZENTO ⁵	3 5 6 6 7	0,59 0,74 0,45 0,71 0,67	0,78 0,90 0,66 0,88 0,86	0,78 0,90 0,66 0,88 0,86	CHAPA CINZENTA ⁵ INTERNA CHAPA REGULAR INTERNA	6	0,46	0,80	0,42	0,44	
CHAPA CINZENTA ⁵	5 6 10 13	0,52 0,47 0,33 0,24	0,72 0,70 0,56 0,50	0,72 0,70 0,56 0,50	CHAPA CINZENTA ⁵ COM PELÍCULA CONTROLADORA DO SOL EXTERNA CHAPA REGULAR INTERNA	6	0,23	0,80	0,42	0,44	

¹ Refere-se a unidades feitas em fábrica com espaço de ar de 5,7 ou 13 mm ou a janelas primárias mais contra-janelas.
² Ver a literatura do fabricante para os valores.
³ Espessura de cada vidraça a não espessura do conjunto.
⁴ A folha absorvedora de calor não obedece aos requisitos da transmissão radiante. A chapa observadora de calor obedece a esses requisitos.
⁵ Os vidros redutores de luz que não os de cor cinzentos terão aproximadamente os mesmos coeficientes de sombra para transmissões solares iguais. Consulte dados do fabricante para valores de produtos específicos.
NOTA: Para toldos ou superfícies que projetem sombra completamente sobre a área do vidro use um fator de sombra de 0,20 para todos os tipos de vidro.
Reproduzida sob permissão da ASHRAE - Data Book 1965.

Anexo 03 – Tabela 3.31 – A

TABELA 3.31A – COEFICIENTES DE SOMBRA – VIDRO SIMPLES COM SOMBRA INTERIOR (VER TAMBÉM TABELA 3.31B)										
TIPO DE VIDRO	ESPES- SURA NOMI- NAL ¹	TRANSM. SOLAR ¹	TIPO DE SOMBRA							
			PERSIANAS				CORTINAS DE CORRER OPACAS			
			MÉDIAS		LEVES		ESCURAS		BRANCAS	
			VIDRO AO SOL	VIDRO À SOM- BRA	VIDRO AO SOL	VIDRO À SOM- BRA	VIDRO AO SOL	VIDRO À SOM- BRA	VIDRO AO SOL	VIDRO À SOM- BRA
Folha regular Chapa regular Forma regular Forma absorvedora de calor Folha cinzenta	2,5-6,5 6,5-13 3-7 3 5-6	0,87-0,80 0,80-0,71 0,87-0,79 --- 0,74, 0,71	0,64	0,66	0,55	0,60	0,59	0,61	0,25	0,22
Folha absorvedora de calor Chapa absorvedora de calor Forma absorvedora de calor Folha cinzenta Chapa cinzenta	6 7 5-6 3-6 5, 6	0,51 0,46 --- 0,59, 0,45 0,52, 0,45	0,57	0,58	0,53	0,52	0,45	0,42	0,30	0,30
Folha, chapa ou forma absorvedora de calor Chapa absorvedora de calor Chapa cinzenta	— 10 10	0,44-0,30 0,34 0,33	0,54	0,53	0,52	0,52	0,40	0,36	0,28	0,26
Folha, chapa ou forma absorvedora de calor Chapa cinzenta	— 13	0,29-0,15 0,24	0,51	0,51	0,50	0,50	0,36	0,32	0,28	0,25

¹ Ver a literatura do fabricante para os valores.
Reproduzida sob permissão da ASHRAE - Data Book 1965.

Anexo 04 – Calor Cedido em W (Pessoas)

Atividade	Calor Metabólico	Calor Sensível	Calor Latente
durante o sono (basal)	80	40	40
sentado, em repouso	115	63	52
em pé, em repouso	120	63	57
sentado, cosendo à mão	130	65	65
escritório (atividade moderada)	140	65	75
em pé, trabalho leve	145	65	80
datilografando rápido	160	65	95
lavando pratos	175	65	110
confeccionando calçados	190	65	125
andando	220	75	145
trabalho leve, em bancada	255	80	175
garçom	290	95	195
descendo escada	420	140	280
serrando madeira	520	175	345
nadando	580	—	—
subindo escada	1280	—	—
esforço máximo	870 a 1400	—	—

Calor Cedido ao ambiente (W), segundo a atividade desenvolvida pelo indivíduo

Fonte: Mesquita - Em Manual de Conforto Térmico, Anexo 18

Anexo 05

Orientação	Hora	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Total diário
Direta Normal	0	0	58	356	441	476	491	496	491	476	441	356	58	0	0	4140	
Norte	9	49	85	113	130	136	130	136	130	113	85	49	9			3612	
Direta	0	0	0	74	166	256	332	352	362	323	275	194	27			2704	
Difusa	9	49	85	113	130	136	130	136	130	113	85	49	9			908	
Noroeste	9	49	85	187	296	392	462	496	482	386	360	243	36			2909	
Direta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			2001	
Difusa	9	49	85	113	130	136	130	136	130	113	85	49	9			908	
Oeste	9	49	85	113	130	136	247	332	371	332	371	332	61			1863	
Direta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			955	
Difusa	9	49	85	113	130	136	130	136	130	113	85	49	9			908	
Sudoeste	9	49	85	113	130	136	130	136	130	113	93	111	27			996	
Direta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			88	
Difusa	9	49	85	113	130	136	130	136	130	113	85	49	9			908	
Sul	9	49	85	113	130	136	130	136	130	113	85	49	9			908	
Direta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	
Difusa	9	49	85	113	130	136	130	136	130	113	85	49	9			908	
Sudeste	27	111	93	113	130	136	130	136	130	113	85	49	9			996	
Direta	18	62	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			88	
Difusa	9	49	85	113	130	136	130	136	130	113	85	49	9			908	
Leste	61	332	371	332	247	136	130	113	85	49	9					1863	
Direta	51	283	286	219	116	0	0	0	0	0	0	0	0			2909	
Difusa	9	49	85	113	130	136	130	136	130	113	85	49	9			908	
Nordeste	65	386	482	496	462	392	296	187	85	49	9					2001	
Direta	56	337	397	383	332	256	166	74	0	0	0	0	0			955	
Difusa	9	49	85	113	130	136	130	136	130	113	85	49	9			908	
Horizontal	19	160	302	415	486	511	486	415	302	160	19					3275	
Direta	4	94	193	272	322	340	322	272	193	94	4					2210	
Difusa	0	0	15	66	109	143	164	171	164	143	109	66	15	0	0	1165	

Radiação solar global (lg), direta (ID) e Difusa (Id), para planos expostos a diversas orientações. São Paulo 23°19' Sul. Período 1976/1979 (W/m²)

Fonte: IAG/IPT - Em Manual de Conforto Térmico, Anexo 18