

POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DO USO DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM PROJETOS DE RETROFIT DE EDIFÍCIOS HABITACIONAIS EM SÃO PAULO

Vinícius Santos Oliveira (IC) e Carolina de Rezende Maciel (Orientador)

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

A energia operacional de uma edificação denota a porção de energia consumida durante todo o período de vida útil, para fins de uso e ocupação (sistemas prediais, iluminação artificial, sistemas de climatização, equipamentos e eletrodomésticos). Considerando que a vida útil de um edifício de grande porte seja igual ou superior a 40 anos (podendo chegar a 60 anos), estima-se que 84% do consumo energético da edificação é do tipo operacional. As intervenções propostas nesta pesquisa estão em relação direta ao sistema de iluminação para redução do consumo energético de uma edificação pelo maior aproveitamento da luz natural e substituição do tipo de lâmpada por modelos mais eficientes energeticamente. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o potencial de economia de energia elétrica por meio do aproveitamento da iluminação natural em projetos de retrofit de edifícios habitacionais localizados em São Paulo, utilizando para tanto, os estudos de caso Edifício Parque das Hortênsias e Edifício Parque das Acácias. O software DesignBuilder foi utilizado para realizar simulações computacionais termoenergéticas considerando as características construtivas originais dos edifícios. Como resultado, o maior potencial com base na economia energética anual por meio da estratégia de retrofit de atualização do sistema de iluminação em conjunto ao aproveitamento de iluminação natural foi obtido pelo Edifício Parque das Acácias (87,1%), e o Edifício Parque das Hortênsias (86,8%). Portanto, espera-se que a discussão sobre potencial de energia elétrica por meio de estratégia de retrofit do sistema de iluminação em edifícios habitacionais brasileiros seja enriquecida através dos resultados alcançados.

Palavras-chave: consumo energético, sistema de iluminação, retrofit.

ABSTRACT

The operational energy of a building denotes the portion of energy consumed during the entire useful life period, for purposes of operation and occupation (building systems, artificial lighting, air conditioning systems, equipment and appliances). Considering that the useful life of a building is 40 years or more (possibly reaching 60 years), it is estimated that 84% of the building's energy consumption is of the operational type. The interventions proposed in this research are directly related to the lighting system to reduce the energy consumption of a

building by the use of natural light and replacing the type of lamp with more energy efficient models. This research aimed to evaluate the potential of saving electric energy through the use of natural lighting in retrofit projects of residential buildings located in São Paulo, using the case studies Edifício Parque das Hortênsias and Edifício Parque das Acácias for this purpose. The DesignBuilder software was used to perform computational thermoenergetic simulations considering the original construction characteristics of the buildings. As a result, the potential based on annual energy savings through the retrofit strategy of updating the lighting system with the use of natural lighting was achieved by the Edifício Parque das Acácias (87.1%), and the Edifício Parque das Hortênsias (86.8%). Therefore, it is expected that the discussion about electric energy potential through a retrofit strategy of the lighting system in Brazilian housing buildings will be enriched through the results achieved.

Keywords: energy consumption, lighting system, retrofit.

1. INTRODUÇÃO

A presente pesquisa abordou, de um modo geral, a economia de energia elétrica pelo uso de iluminação natural em projetos de retrofit, termo esse utilizado em sua forma original, para definir qualquer tipo de reforma. No entanto, entre profissionais e pesquisadores envolvidos com eficiência energética em edificações o termo é utilizado para definir alterações ou reformas em sistemas consumidores de energia elétrica visando sua conservação (GHISI, 1997).

O termo reabilitação, de acordo com Baker (2009), abrange uma ampla gama de intervenções, desde procedimentos mais pontuais, como a substituição e atualização das instalações elétricas até a reconstrução completa da envoltória de um edifício (incluindo elementos como fechamentos verticais e cobertura). A motivação, durante muito tempo, foi impulsionada pelas vantagens na melhora da funcionalidade e aparência e, mais recentemente, por fatores econômicos e busca pela eficiência energética.

A energia total consumida em um edifício pode ser decomposta em dois tipos básicos: energia incorporada e energia operacional. A energia operacional denota a porção de energia consumida durante toda a sua vida útil, para fins de uso e ocupação (sistemas prediais, iluminação artificial, sistemas de climatização, equipamentos e eletrodomésticos). Considerando que a vida útil de um edifício de grande porte seja igual ou superior a 40 anos (podendo chegar a 60 anos), estima-se que 84% do consumo energético da edificação é do tipo operacional, (EPA, 1997).

Este tema, portanto, assume uma importância em relação à preservação do edifício, conforto e preocupação com a esfera do ecossistema. Um elevado potencial de economia de energia pode ser alcançado se a iluminação natural for utilizada como uma fonte de luz para iluminar os ambientes internos. No entanto, a iluminação natural não resulta diretamente em economia de energia. A economia só ocorre quando a carga de iluminação artificial pode ser reduzida através de sua utilização. Existem poucas edificações em que a iluminação natural tem o potencial de suprir o total de iluminação necessária, da mesma forma, existem poucas edificações em que a iluminação natural não possa contribuir significativamente na iluminação do ambiente (GHISI, 1997).

Nem todas as intervenções estão diretamente relacionadas a substituição de equipamentos, a busca pelo maior aproveitamento da luz natural é o objetivo principal, uma vez que reflete em redução considerável do consumo energético, assim muitas vezes, apenas mudanças no posicionamento das luminárias ou abertura de novos vãos podem resolver o problema (BARRIENTOS, 2004).

Através de análises sobre iluminação natural em diferentes cidades, em conjunto com artigos de faculdade, percebe-se quanto maior a latitude da localidade como em Curitiba, Porto Alegre e São Paulo, menores os níveis de iluminação, em comparação a localidades como Belém e Natal que apresentam excesso de iluminância mais comum (BARRIENTOS, 2004).

Na cidade de São Paulo existe um grande número de edificações antigas que necessitam passar por um processo de reabilitações, existindo, desta forma, um mercado em potencial para a aplicação destas técnicas voltadas para a requalificação energética e ambiental destes edifícios. Um projeto de retrofit com o objetivo de melhoria do desempenho lumínico pode resultar em uma economia de 50% o que representa aproximadamente 15% dos gastos gerais em consumo de energia (ROMERO, 2001 *apud* BARRIENTOS, 2004).

De acordo com Obata (2016), remodelar uma edificação implica em várias abordagens e considerações de ação de reuso, restauros, renovações, reformas e retrofit de partes da edificação ou toda uma obra. Neste processo, são fornecidos à edificação atualizações que não eram disponíveis ou mesmo não foram consideradas necessárias no momento de sua construção.

Um fator importante que deve ser levado em consideração sobre os projetos retrofits são sua não complexidade e baixo custo. Segundo Barrientos (2004), os principais pontos para que se tenha um projeto retrofit eficiente, são o melhor aproveitamento possível da iluminação natural, escolher lâmpadas com maior rendimento, maior fluxo luminoso e menor consumo, aplicar materiais de boa refletância, que absorvem pouca luz e aplicação de lâmpadas dimerizadas que permitem o melhor aproveitamento da luz natural.

Neste contexto, a presente pesquisa avaliou o potencial de energia elétrica pelo aproveitamento de iluminação natural em projetos retrofit de dois edifícios projetados por João Artacho na cidade de São Paulo. Além disso, foi estimada também a economia proporcionada pela substituição do sistema de iluminação por lâmpadas mais eficientes energeticamente. O Edifício Parque das Hortênsias, que possui 15 pavimentos sendo 4 apartamentos por andar e o Edifício Parque das Acácias com 15 pavimentos, com 6 apartamentos por andar.

1.1 Problema de pesquisa

Qual o potencial de economia de energia elétrica quando aproveitada a iluminação natural em edifícios habitacionais no centro de São Paulo?

1.2 Justificativa

A partir da década de 1990, surgiu nos Estados Unidos e Europa o tema retrofit, onde passou-se a ter preocupação com atualizações de edificações e a sua modernização.

No Brasil, o retrofit de edificações vem sendo estimulado por políticas fiscais e por iniciativas privadas, devido principalmente ao fato dos edifícios históricos extremamente importantes para a cultura de cada cidade no nosso país estarem degradados e em mau estado de conservação e precisarem de reforma (ESTEVES; LOMARDO, 2009).

Em uma edificação, o uso de iluminação natural é um item essencial no projeto, a existência da luz natural torna o ambiente mais saudável e agradável para a permanência humana. Segundo Duarte (2010), durante o século XX, no ápice da arquitetura modernista, começou a ter utilização constante de luz elétrica para iluminar o interior das edificações, gerando um sistema dependente de luz artificial. Nos dias atuais, busca-se a economia de energia e sua conscientização tendo como objetivo a eficiência, diminuindo o impacto no meio ambiente.

Arelado ao boom imobiliário, o mercado de retrofit vem crescendo nos grandes centros urbanos do Brasil, onde as áreas para novos empreendimentos estão cada vez mais escassas e caras. Disputados pelos investidores do setor imobiliário, esses edifícios antigos, depois de modernizados, oferecem, além de localização privilegiada, retorno do investimento após um período curto de obra. (MOURA, 2008 *apud* ESTEVES; LOMARDO, 2009).

A concepção do tema retrofit é vinculado à inovação tecnológica sendo fundamental a utilização de recursos tecnológicos, em alguns casos feitos para apresentar soluções e respostas para a atualização dos sistemas existentes na edificação e que visem a melhoria de elementos arquitetônicos específicos, com ênfase no empreendimento e sua conservação, buscando o melhor desempenho tanto operacional, quanto energético. (ESTEVES; LOMARDO, 2009).

No presente trabalho, a aplicação do conceito de retrofit foi feita por meio da avaliação dos aspectos físicos do projeto e que possibilitam o aproveitamento de iluminação natural e consequente redução do consumo de energia, principalmente nos dias atuais. A economia direta quando se trata de energia elétrica em projetos luminotécnicos tem como procedência, além do aproveitamento da luz natural, também a escolha de um sistema de iluminação artificial eficiente (TOLEDO, 2008).

Uma das principais vantagens da luz natural é a qualidade de luz proporcionada. A visão humana evoluiu ao longo de milhões de anos usando a luz natural - uma combinação de luz

solar direta e luz difusa do céu – e por esse motivo apresenta maior facilidade de se adaptar a ela. A luz natural é uma fonte luminosa de espectro completo, por isso é usada como referência na comparação com as fontes artificiais. Também é considerada a melhor fonte de luz para a fidelidade na reprodução de cores (TOLEDO, 2008).

Os edifícios que mais interessam para projetos de retrofit são os antigos e localizados nos centros urbanos, pois normalmente já dispõe de infraestrutura completa. Através da sua revitalização seus sistemas são modernizados buscando-se a eficiência no uso de energia elétrica. Diante disso o ramo da arquitetura, tem por objetivo auxiliar na qualidade do ambiente por meio da iluminação natural.

Após um extenso levantamento acerca de edifícios habitacionais na região central de São Paulo e que foram construídos há mais de 60 anos, foram selecionados para este estudo foram, como citado anteriormente, o Parque das Hortênsias e Parque das Acácias. Encontrou-se através de documentos oficiais e artigos informações sobre os edifícios, e em seu aspecto estrutural apresentam uma composição de fachada que se exteriorizam com bastante incidência de iluminação natural, tema principal da pesquisa.

1.3 Objetivo

O objetivo desta pesquisa é avaliar o potencial de economia de energia elétrica por meio do aproveitamento da iluminação natural em projetos de retrofit de edifícios habitacionais localizados em São Paulo, utilizando para tanto, os estudos de caso Edifício Parque das Hortênsias e Edifício Parque das Acácias.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir serão apresentados brevemente os autores estudados para a fundamentação da discussão sobre o potencial de economia de energia elétrica através do uso de iluminação natural em projetos de retrofit de edifícios habitacionais em São Paulo. Estes trabalhos foram escolhidos pois conceituam sobre a revitalização nesses ambientes, efeitos da iluminação natural e sua importância para se obter uma redução no consumo de energia elétrica.

Barbieri (2016), em sua dissertação de mestrado intitulada “The performance of windows in relation to the amount of daylight availability”, apresentou a importância do uso da luz natural em projetos que visam redução do consumo energético e além disso realizou simulações computacionais em diferentes horários, através do software TropicLux, para estudo da iluminação natural e sua relação com a configuração das aberturas.

Toledo (2017), abordou em seu artigo “Contribuição da consultoria ambiental na fase em projeto: desempenho de iluminação natural em apartamentos com foco no setor de serviço” temas significativos para a realização da pesquisa, como, a importância da iluminação natural e seu posicionamento no interior de edifícios habitacionais.

Leder (2015), em seu artigo científico sobre “Percentual de abertura na fachada e tipos de fechamento no desempenho lumínico da edificação”, confirmou que as aberturas têm responsabilidade em uma quantidade significativa e demonstrou a preocupação de que todos os ambientes numa edificação residencial recebam luz natural e tenham contato com o exterior. Somando-se a isso, analisou o impacto do tamanho e tipo das aberturas e o seu desempenho lumínico.

Silva (2013), em sua dissertação de mestrado intitulada “Preservação e Sustentabilidade: restaurações e retrofits”, abordou questões sobre o desenvolvimento sustentável e a importância do retrofit nas edificações, principalmente devido ao impacto causado pelas construções civis ao meio ambiente.

Magni (2019), em sua dissertação de mestrado sobre “João Artacho Jurado: estudo dos edifícios residenciais construídos na capital paulista”, transcorreu sobre os edifícios do arquiteto Jurado, incluindo o Edifício Parque das Hortênsias, alvo de estudo nessa pesquisa, sobre seu estado de conservação, papel na cidade e histórico.

3. METODOLOGIA

3.1 Estudos de caso

3.1.1 Edifício Parque das Hortênsias (1962)

Quadro 1 – Ficha técnica do Edifício Parque das Hortênsias

Edifício Parque das Hortênsias	
Data:	1962
Endereço:	Avenida Angélica, 1100
Nº de Pavimentos:	15
Nº de apartamentos por andar:	4
Arquiteto:	João Artacho Jurado

Fonte: Elaboração própria (2020).



Figura 1 – Situação espacial – Edifício Parque das Hortênsias

Fonte: Adaptado de Google Earth (2020) e OpenStreetMap (2020)

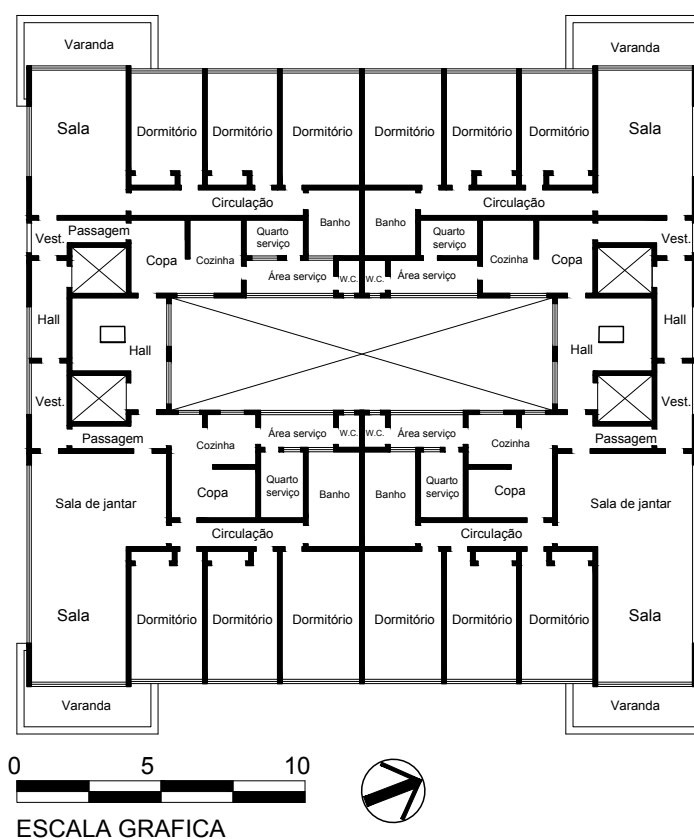


Figura 2 – Planta baixa do pavimento tipo – Edifício Parque das Hortênsias

Fonte: Adaptado de Franco (2008).

Segundo Magni (2019), o edifício apresenta um terreno de 3.970,00 m², com duas torres de apartamentos, apesar de ter duas opções de planta, ambas abrangem o mesmo programa. O arquiteto teve como iniciativa a integração do edifício com a cidade elevando-o através de

pilotis, porém ao longo dos anos, devido a segurança de seus moradores, a edificação atualmente apresenta um gradil, interrompendo essa relação. Conforme reitera Magni (2019), o Edifício Parque das Hortênsias tem como apazível suas fachadas por ter uma dinâmica de materiais, cores e jardineiras nos beirais das janelas. Os materiais que revestem a edificação dominam a porcelana rosa e as esquadrias de ferro forjado pela pintura branca. Além disso, o arquiteto Artacho Jurado se inspirou na arquitetura de Le Corbusier, através da longa janela corrediça horizontal, sistema esse também utilizado no Edifício Parque das Acácias.

3.1.2 Edifício Parque das Acácias (1962)

Quadro 2 – Ficha técnica do Edifício Parque das Acácias

Edifício Parque das Acácias	
Data:	1962
Endereço:	Avenida Higienópolis, 578
Nº de Pavimentos:	15
Nº de apartamentos por andar:	6
Arquiteto:	João Artacho Jurado

Fonte: Elaboração própria (2020).



Figura 3 – Situação espacial – Edifício Parque das Acácias

Fonte: Adaptado de Google Earth (2020) e OpenStreetMap (2020)

De acordo com Zuffo (2009), o Edifício Apracs, ou mais conhecido como Edifício Parque das Acácias compreende em seu programa comércio no térreo. Possui 16.000 m² de área construída, com 15 andares e 6 apartamentos por andar, cada qual com sala, cozinha, área de serviço e dois dormitórios. A planta é de formato regular e os apartamentos são locados em fileira única. A implantação com a fachada contínua auxiliou na criação e ampliação de

espaços com iluminação natural, além da fachada seguir o raciocínio criativo e estético de Le Corbusier, assim como o Edifício Parque das Hortênsias.

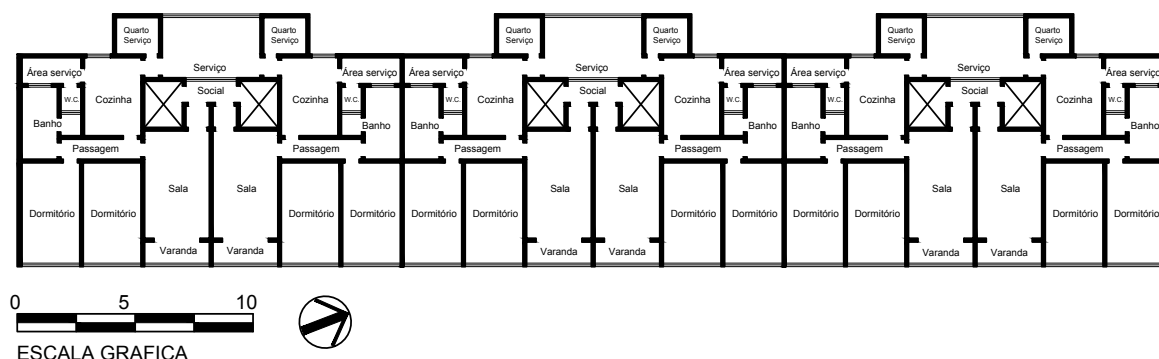


Figura 4 – Planta baixa do pavimento tipo – Edifício Parque das Acácias

Fonte: Adaptado de Franco (2008).

3.2 Simulações computacionais termoenergéticas

Nesta fase de estudos e análises foi aplicado o software DesignBuilder para observar a conduta termoenergética dos edifícios em estudo levando em conta as condições climáticas de São Paulo. A metodologia desta etapa se apoiou no trabalho de Maciel (2020) e abrange as seguintes divisões:

a) *fase de preparação* – foram obtidos dados e informações sobre as características físicas e construtivas dos 2 edifícios em estudo por meio de Franco (2008) e visitas *in loco*. Foi utilizado o software DesignBuilder versão 6.1.0.006, por apresentar um ambiente facilitador de conexão e interação entre o utilizador e sistema de operação, aplicou-se o motor de cálculo do EnergyPlus versão 8.1. Seguidamente a realização da modelagem, produziu-se um arquivo no formato IDF e importado para um programa alternativo chamado EP-Launch, com uma ligação direta no EnergyPlus, ocorrendo a execução da simulação conjunto ao arquivo climático de São Paulo para as 8760 horas do ano.

b) *fase da simulação numérica* – o pavimento tipo dos dois edifícios destinados a esse estudo foram modelados de acordo com os atributos especificados a seguir:

- Paredes externas formadas por bloco maciço de cerâmica (espessura de 20 cm), com argamassa nas duas faces e pintada na cor bege claro ($\alpha=0,3$) totalizando 25 cm de espessura; resultando numa transmitância térmica (U) de $2,33 \text{ W/m}^2.\text{K}$ e resistência térmica de $0,42 \text{ m}^2.\text{K/W}$.
- Paredes internas composta por bloco maciço de cerâmica (espessura de 12 cm), com argamassa nas duas faces e pintada na cor bege claro ($\alpha=0,3$) totalizando 17 cm de

espessura; resultando numa transmitância térmica (U) de $2,43 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e resistência térmica de $0,41 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$.

- Elementos transparentes em vidro comum 3mm, com fator solar de 0,87; transmissão luminosa (TL) de 0,89 e transmitância térmica (U) de $6,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$;
- Sistema de iluminação do tipo lâmpada incandescente, com densidade de potência instalada de 12 W/m^2 -100lux. As edificações não possuíam controle de acionamento, permanecendo ligadas de acordo com o uso e ocupação programados da edificação (função *activity* do software Design Builder);
- As edificações em análise não possuem dispositivos de sombreamento.

Tabela 3 – Característica do envelope do pavimento tipo dos estudos de caso

Variável	Edifício Parque das Hortênsias	Edifício Parque das Acácias
Área elementos opacos (m^2)	531,47	494,13
Área elementos transparentes (m^2)	203,59	112,78
WWR (%)*	38,31	22,82
Área orientação Norte (315° a 45°)	126,51	61,45
Área orientação Leste (45° a 135°)	239,72	268,63
Área orientação Sul (135° a 225°)	126,51	55,88
Área orientação Oeste (225° a 315°)	242,32	220,94

* Window to wall ratio = Razão entre elementos transparentes e elementos opacos

Fonte: Elaboração própria (2020)

c) *análise dos resultados* – decorrente dos arquivos simulados com o software, foram alcançados dados de consumo energético (kWh) e de carga térmica interna (kWh) do pavimento tipo relacionado a cada edificação, apresentados por meio de gráficos com o comportamento anual das variáveis em estudo.

3.3 Propostas avaliadas - retrofit

A presente pesquisa teve como premissa a estratégia direta para o sistema de iluminação, sendo embasada na condição de aprimorar o desempenho termoenergético das duas edificações em análise, com o objetivo de examinar o efeito causado sobre as variáveis de consumo energético (kWh) e de ganhos térmicos internos (kWh) do pavimento tipo de cada edificação.

Sendo assim, além da edificação tal como se encontra atualmente (cenários de referência), foram simuladas diferentes alternativas que contemplaram modificações no sistema de iluminação das mesmas. Os dois edifícios, no âmbito dos cenários de referência, foram

considerados que ambos apresentavam lâmpadas do tipo incandescente com densidade de potência instalada de 12 W/m²-100lux.

Para a estratégia de retrofit do sistema de iluminação foi considerada a troca de todas as lâmpadas e a possibilidade de uso de sensores de iluminação, que acionam a luz somente quando a luz natural é insuficiente em um determinado ambiente e horário (a iluminância mínima foi definida como 500lux). Foram consideradas as seguintes alternativas para lâmpadas (tabela 2):

Tabela 4 – Características dos sistemas de iluminação artificial

Tipo	Densidade de potência instalada	Controle de acionamento
Incandescente	12 W/m ² -100lux	Sim
Fluorescente	8 W/m ² -100lux	Não
Fluorescente	8 W/m ² -100lux	Sim
LED tipo 1	5 W/m ² -100lux	Não
LED tipo 1	5 W/m ² -100lux	Sim
LED tipo 2	2,5 W/m ² -100lux	Não
LED tipo 2	2,5 W/m ² -100lux	Sim

Fonte: Software Design Builder (2020).

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

As simulações realizadas para se obter os resultados e análises da escala da edificação foram baseadas em Maciel (2020) e separadas em 2 etapas distintas: diagnóstico e retrofit.

Assim, o primeiro conjunto formado por modelos virtuais teve como meta o ensaio e avaliação das potencialidades e fragilidades, sendo o ponto de análise levar em consideração a atual situação em que o edifício se encontra. Já o segundo conjunto de simulações propõe como foco de estudo e análise a conduta das variáveis de consumo energético (kWh) e carga térmica interna (kWh) após transformações realizadas através do retrofit, com o foco em sistema de iluminação. Destaca-se que resultados mostrados retratam o valor total pelo pavimento tipo de cada edificação.

4.1 Etapa de diagnóstico (cenário de referência)

A seguir são expostos por meio de gráficos os resultados obtidos das simulações levando em conta a atual situação em que o edifício se mantém presentemente. A fase de diagnóstico tem como intenção apontar os sistemas elétricos que motivam o maior consumo energético em cada uma das edificações.

4.1.1 Edifício Parque das Hortênsias

O desempenho da variável consumo energético (kWh) com base no pavimento tipo do Edifício Parque das Hortênsias, congruente a temperatura média do ar externo (°C) é retratado visualmente na figura 5. Pode-se notar a utilização mais frequente de consumo de energia ao percorrer do ano é por meio de iluminação artificial.

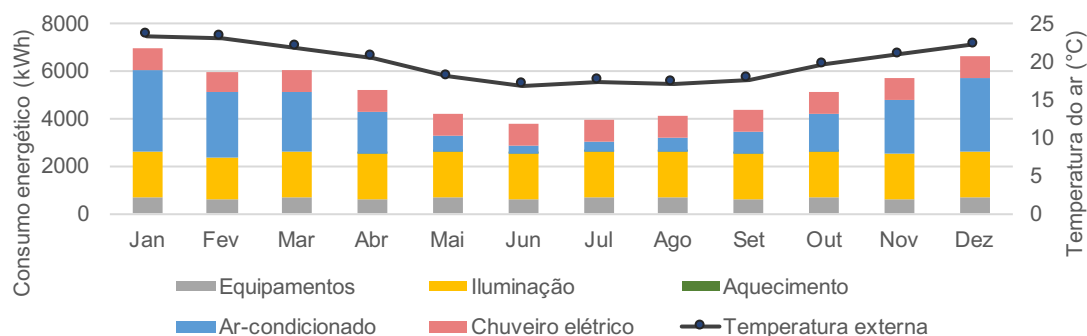


Figura 5 – Consumo energético (kWh) por pavimento tipo – Edifício Parque Hortênsias

Fonte: Elaboração própria (2020).

Sendo, por meio da iluminação artificial, o número alcançado de consumo energético menor foi no mês de fevereiro (1744,15 kWh) e o registro maior foi apontado no mês de março (1939,37 kWh).

A figura 6, aponta graficamente o consumo energético decomposto por uso final (kWh) e carga térmica interna (kWh) anual, para o pavimento tipo do Edifício Parque das Hortênsias.

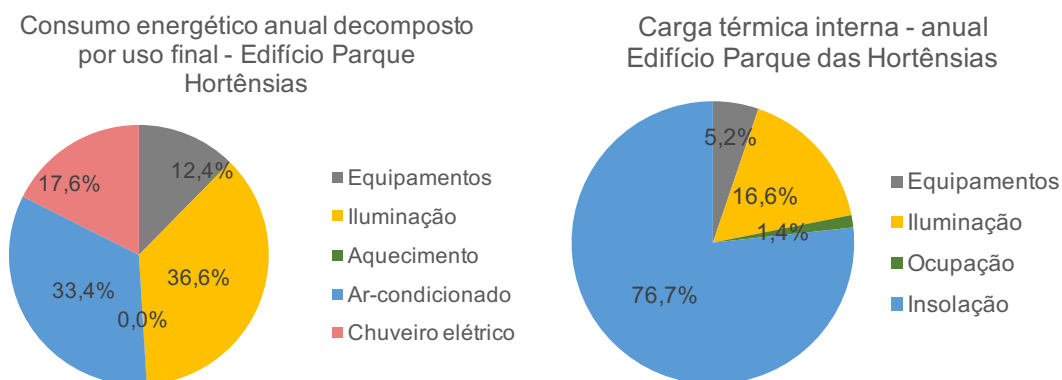


Figura 6 – Diagnóstico do consumo energético – Edifício Parque das Hortênsias

Fonte: Elaboração própria (2020).

Pode se notar, que o Edifício Parque das Hortênsias teve como maior fonte agente para a carga térmica interna de 76,7%, seguido da iluminação como fator seguinte com 16,6% no gráfico. Por sua vez, o consumo energético da edificação teve como fator agente a iluminação e a utilização do ar condicionado como pontos em destaque anual, sendo o primeiro 36,6% e o segundo 33,4%, como mostra o gráfico.

4.1.2 Edifício Parque das Acácias

O desempenho da variável consumo energético (kWh) com base no pavimento tipo do Edifício Parque das Acácias, congruente a temperatura média do ar externo (°C) é retratado visualmente na figura 7.

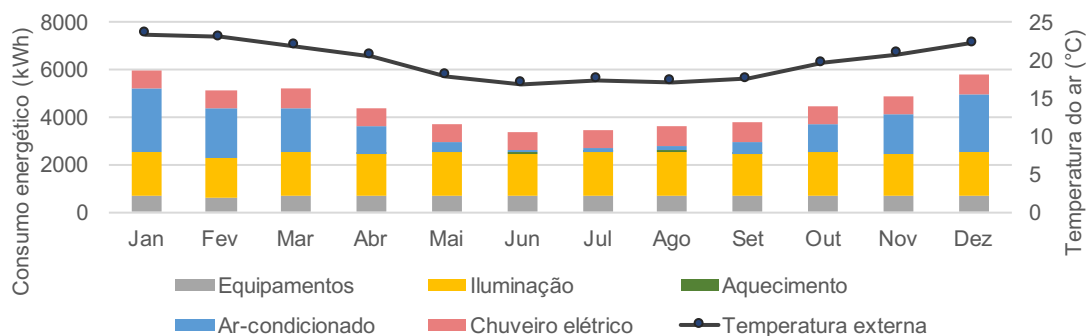


Figura 7 – Consumo energético (kWh) por pavimento tipo – Edifício Parque Acácias

Fonte: Elaboração própria (2020).

Através do Edifício Parque das Acácias, pode-se notar, assim como o edifício anterior a utilização mais frequente de consumo de energia ao percorrer do ano é por meio de iluminação artificial. Sendo, por meio da iluminação artificial, o número alcançado de consumo energético menor foi no mês de fevereiro (1688,17 kWh) e o registro maior foi apontado no mês de março (1873,7 kWh), coincidindo com os meses do edifício anterior.

A figura 8, revela graficamente o consumo energético decomposto por uso final (kWh) e carga térmica (kWh) no ano em porcentagem para o pavimento tipo do Edifício Parque das Acácias.

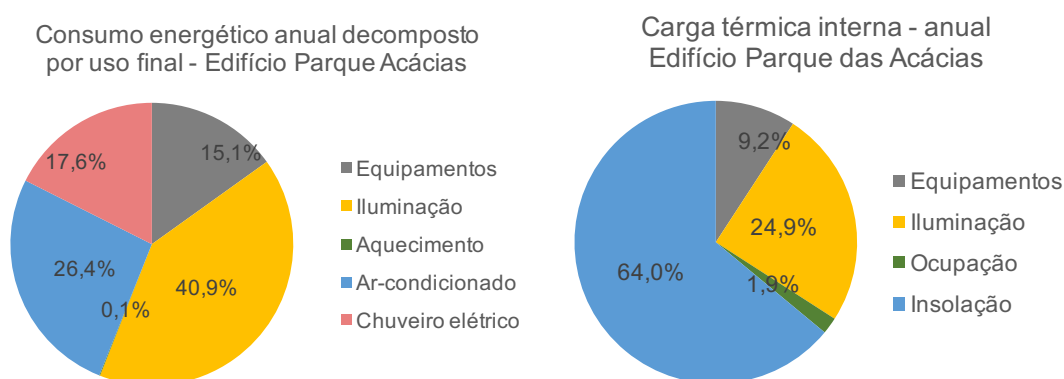


Figura 8 – Diagnóstico do consumo energético - Edifício Parque das Acácias

Fonte: Elaboração própria (2020).

Pode-se notar, que o Edifício Parque das Hortênsias teve como maior fonte agente para a carga térmica interna a Insolação com uma predominância no valor de 64,04% anual, seguido apenas de 24,9% de iluminação como segundo fator nesta categoria. Por sua vez, o consumo energético da edificação teve como fator agente a iluminação e a utilização de ar condicionado

como pontos em destaque anual, sendo o primeiro 40,9% e o segundo 26,4%, como mostra o gráfico. Resultado esse que apresenta uma maior margem entre iluminação e ar condicionado que o edifício anterior.

4.1.3 Considerações sobre a etapa de diagnóstico

Ambos os edifícios estudados e analisados tiveram como fonte predominante de consumo de energia o sistema de iluminação artificial, seguido do uso de ar condicionado, observando que nos meses de outono-inverno (maio, junho, julho) são os meses com maior demonstração de utilização do sistema de iluminação, com a redução do ar condicionado, devido ao clima com a temperatura do ar (°C) mais baixa.

No que diz respeito ao consumo energético foi apontando como maior nível de utilização o sistema de iluminação artificial, advindo de serem edifícios antigos da década de 1960, sendo assim considerou-se como medida de retrofit a mudança em sua totalidade de lâmpadas que tenham maior eficiência em questão do consumo energético.

4.2 Retrofit - Sistema de iluminação

Nas figuras 9 e 10 foram apresentados os resultados das simulações considerando o retrofit do sistema de iluminação de cada edificação, ou seja, a substituição total das lâmpadas incandescente (cenário de referência) por lâmpadas mais econômicas e eficientes, além de considerarem o aproveitamento de iluminação natural (sensores de controle de acionamento). Esta etapa teve o objetivo de identificar qual, dentre as alternativas simuladas, apresenta a maior economia de energia no contexto de cada edificação.

4.2.1 Edifício Parque das Hortênsias

Visto por meio do cenário de referência, como mostra a figura 9 destacada na cor laranja, o consumo pelo sistema de iluminação alcança valores de 1744,15kWh (fevereiro) chegando em 1939,37 kWh (março).

Através da reposição por lâmpadas que tenham um impacto de economia maior como a LED Tipo 2, apresentada no gráfico, pode-se conseguir uma redução de consumo energético extremamente alta apenas através do sistema de iluminação triado. Obteve-se resoluções no quesito de diminuição do consumo de energia quando se optou pela escolha de lâmpadas LED de potência instalada de 2,5 W/m²-100lux (densidade de potência relativa) acompanhado do controle de acionamento num valor limite de 86,8%, e por outro lado, na opção de sistema fluorescente sem esse controle obteve-se 33,33% de resposta.

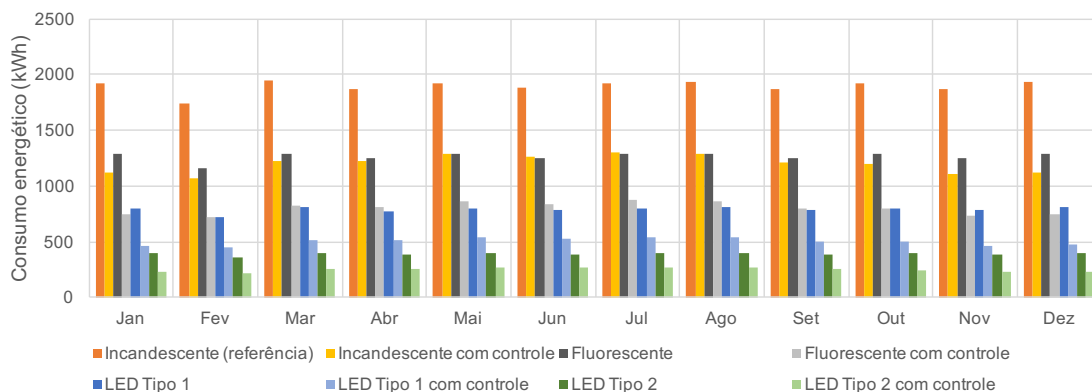


Figura 9 – Consumo energético (kWh) por iluminação, por pavimento tipo – Parque das Hortênsias

Fonte: Elaboração própria (2020).

Sendo assim, temos como resultado que através da implantação do sistema eficiente, o consumo de energia por pavimento referente aos sistemas de iluminação do Edifício Parque das Hortênsias apresenta o menor valor de 223,51 kWh no mês de fevereiro e o maior valor de 271,92 kWh no mês de julho.

4.2.2 Edifício Parque das Acácias

Visto por meio do cenário de referência, como mostra a figura 10 destacada na cor laranja, o consumo pelo sistema de iluminação alcança valores de 1688,17kWh (fevereiro) chegando em 1688,17kWh (fevereiro).

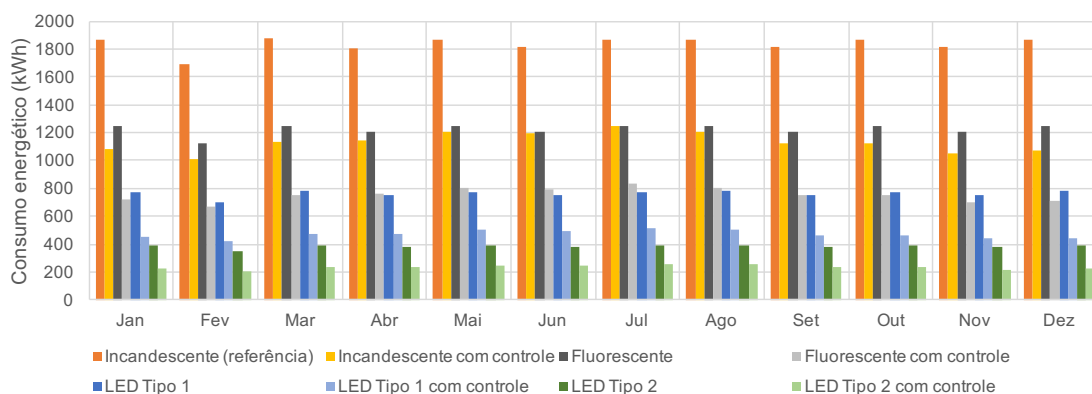


Figura 10 – Consumo energético (kWh) por iluminação, por pavimento tipo – Parque das Acácias

Fonte: Elaboração própria (2020).

Através da reposição por lâmpadas que tenham um impacto de economia maior como a LED Tipo 2, apresentada no gráfico, pode-se conseguir uma redução de consumo energético extremamente positiva alta apenas através do sistema de iluminação triado. Obteve-se resoluções no quesito de diminuição do consumo de energia quando se optou pela escolha de lâmpadas LED de potência instalada de 2,5 W/m²-100lux (densidade de potência relativa)

acompanhado do controle de acionamento num valor limite de 87,1%, e por outro lado, na opção de sistema fluorescente sem esse controle obteve-se 33,33% de resposta.

Sendo assim, temos como resultado que através da implantação do sistema eficiente, o consumo de energia por pavimento coligados aos sistemas de iluminação do Edifício Parque das Acácias apresenta o menor valor de 209,44kWh no mês de fevereiro e o maior valor de 259,65 kWh no mês de julho.

4.2.3 Considerações sobre o retrofit dos sistemas de iluminação

Nos itens 4.2.1 e 4.2.2 consegue-se verificar o impacto das lâmpadas quando substituídas no quesito de consumo energético ao pavimento tipo das edificações analisadas. O uso do sistema de controle de acionamento aumentou este percentual de economia, conforme apresentado na tabela 3, consequentemente uma maior significância e proveito da iluminação natural. No Edifício Parque das Hortênsias, esse número consegue alcançar o valor de 86,8% com o sistema “LED Tipo 2” com controle e no Edifício Parque das Acácias o valor de 87,1%, valores esses, significativos no campo de economia de energia. As estações do ano, devem ser consideradas, como visto nos gráficos elas afetam diretamente a utilização dos sistemas de iluminação, devido à maior presença do sol (em número de horas) no verão percebe-se que o uso desse componente é menor, contrapondo-se ao inverno que a utilização da iluminação é maior.

Tabela 3 – Economia proporcionada pelo retrofit do sistema de iluminação artificial

Sistema avaliado	Edifício Parque das Hortênsias	Edifício Parque das Acácias
Incandescente com controle	36,6%	38,3%
Fluorescente	33,3%	33,3%
Fluorescente com controle	57,7%	58,9%
LED Tipo 1	58,3%	58,3%
LED Tipo 1 com controle	73,6%	74,3%
LED Tipo 2	79,2%	79,2%
LED Tipo 2 com controle	86,8%	87,1%

Fonte: Elaboração própria (2020)

Ao longo dos estudos e respostas obtidas apontou-se que o caso em que se obteve maior resultado de economia do consumo energético foi para a lâmpada “LED Tipo 2”, com potência instalada de 2,5 W/m²-100lux e controle de acionamento, visto que ao acionar esse sistema cria possibilidade de controle entre ligado/desligado de acordo com o uso no dia-a-dia, sendo esta a solução optada para o pacote de simulação de retrofit devido a sua maior eficiência em relação aos outros sistemas avaliados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como objetivo avaliar o potencial de economia de energia elétrica por meio do aproveitamento da iluminação natural em projetos de retrofit de edifícios habitacionais em São Paulo.

O software DesignBuilder tornou-se um suporte fundamental para o estudo, através dele foram realizadas as simulações dos 2 edifícios estudados, permitindo respostas para a base da pesquisa no âmbito de consumo energético, indicando visualmente os prós e contras para cada edificação através de simulações no computador.

O enfoque escolhido dentre a estratégia apontada na pesquisa, se permeou no fator da substituição dos sistemas de iluminação, reconhecendo assim, um maior desempenho e potencial no quesito de consumo energético (kWh) nos edifícios estudados, com variações durante os meses analisado, dentre eles, pelos fatores de temperatura, clima e a alteração ocasionada pelas estações do ano.

Como resultado, o maior potencial com base na economia energética anual por meio da estratégia de retrofit de atualização do sistema de iluminação em conjunto ao aproveitamento de iluminação natural foi obtido pelo Edifício Parque das Acácias (87,1%), e sequencialmente o Edifício Parque das Hortênsias (86,8%).

Portanto, espera-se que a discussão sobre potencial de energia elétrica por meio de estratégia de retrofit do sistema de iluminação em edifícios habitacionais brasileiros seja enriquecida através dos resultados alcançados. Ressalta-se que estes resultados se alinham ao entendimento de uma nova fase da arquitetura que preocupa-se com as questões do meio ambiente e o bem-estar do indivíduo.

6. REFERÊNCIAS

BAKER, Nick. *The handbook of sustainable refurbishment: non-domestic buildings*. Routledge, 2009.

BARBIERI, Inidiara Maria Vieira; LARANJA, Andrea Coelho; ALVAREZ, Cristina Engel de. *The Performance of Windows in Relation to the Amount of Daylight Availability*. 2016. 10 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

BARRIENTOS, Maria Izabel Garrido Garcia. *Retrofit de edificações: estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais*. 2004. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

DUARTE, Denise et al. Conforto e desempenho térmico nas edificações do novo centro de pesquisas da Petrobras no Rio de Janeiro. *Ambiente Construído*, v. 10, n. 1, p. 7-29, 2010.

EPA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Sustainable building technical manual*. DOE E.S. Department of Energy Public Technology Inc. 1997.

ESTEVES, Ana Paula da Conceição. LOMARDO, Louise. *O retrofit de edificações tombadas: Possíveis caminhos para a atualização tecnológica de fachadas modernistas e a reforma do edifício IRB*. Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2008.

FRANCO, Ruy Eduardo Debs. *Artacho Jurado: arquitetura proibida*. Senac, 2008.

GHISI, Enedir. *Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina*. 1997. 246 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do estado de Santa Catarina - UFSC, Santa Catarina, 1997.

HORTA, R. M. C. *Construção sustentável de edifícios de balanço energético quase zero*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Nova de Lisboa, 2012.

LEDER, Solange Maria. *Percentual de abertura na fachada e tipos de fechamento no desempenho lumínico da edificação*. Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2015.

MACIEL, Carolina de Rezende. *Retrofit – avaliação de estratégias para requalificação ambiental e energética de edifícios para habitação no centro de São Paulo*. Inovações tecnológicas aplicadas à demandas da sociedade. Relatório de Pesquisa. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2020.

MAGNI, Vagner Bordin. *João Artacho Jurado: Estudo dos edifícios residenciais construídos na Capital Paulista*. 2019. 220 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie – São Paulo, 2019.

MOURA, Éride. Retrofit em alta. *Revista Construção Mercado*. Editora PINI, edição 81, abril/2008.

OBATA, Sasquia Hizuru; SILVA, Wellington; LUIZ, Elaine. Empreender com Bases na Formação de Competências: Os treinamentos para o Desafio Inova Paula Souza 2014 por uma equipe do Polo1. *REVISTA InSIET*, v. 1, n. 1, p. 96-117, 2016.

ROMERO, Marcelo de Andrade et al. Impactos sócio-econômicos e ambientais causados por usinas hidrelétricas. Estudo de caso: UHE ENG. Sergio Motta (Porto Primavera) In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS. *Saneamento ambiental: desafio para o século*, v. 21, p. 1-39, 2001.

SILVA, Roberto Toffoli Simoens da. *Preservação e sustentabilidade: restaurações e retrofit*. 2013. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2013.

TOLEDO, Alexandre Márcio. *Contribuição da consultoria ambiental na fase de projeto: desempenho de iluminação natural em apartamentos com foco no setor de serviço*. Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2017.

TOLEDO, Beatriz Guimarães. *Integração de iluminação natural e artificial: métodos e guia prático para projeto luminotécnico*. 2008. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2008.

VETTORAZZI, Egon. *A utilização de estratégias passivas de conforto térmico e eficiência energética para o desenvolvimento de uma habitação unifamiliar*. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010.

ZUFFO, Élda Regina de Moraes. *Pioneiros modernos: verticalização residencial em Higienópolis*. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade Presbiteriana Mackenzie. 2009.

Contatos: vini.wit@hotmail.com e carolina.maciel@mackenzie.br