2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

VEGETAÇÃO E DESEMPENHO LUMÍNICO: AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO CASA ALVORADA, PORTO ALEGRE/RS[1]

SILVA, Alline Gomes Lamenha (1); SOUZA, Guilherme Almeida (2); MAINARDI, Matheus Scaglia (3); MAZZUCO, Marcelo (4); SATTLER, Miguel Aloysio (5)

(1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, allinelamenha@gmail.com
(2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, guialsouza@gmail.com
(3) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, mainardi_matheus@hotmail.com
(4) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Celomazzuco@gmail.com
(5) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, masattler@gmail.com

RESUMO

O protótipo Casa Alvorada foi idealizado com o intuito de ser um modelo replicável de habitação de interesse social. O projeto contou com soluções calcadas na sustentabilidade, atentando-se para o ciclo de vida dos materiais e nas alternativas preconizadas pela arquitetura bioclimática. Após 18 anos de sua construção, propôs-se uma análise de desempenho pós-ocupação, específica quanto aos condicionantes lumínicos, a partir de uma percepção do crescimento da vegetação em seu entorno. A intensidade de luz natural presente nos ambientes internos foi medida com um luxímetro e os dados obtidos foram, então, lançados no programa ArcGIS, o qual possibilitou visualizar a distribuição de luminância nos diferentes cômodos. Comparando-se os resultados aferidos, aos registrados na época da finalização da execução, pode-se identificar a diminuição dos níveis de luz ingressando pelas aberturas. Dessa forma, constatou-se que o sombreamento provocado pela vegetação induziu o escurecimento dos espaços internos, o que levou à desconformidade quanto aos requisitos mínimos requeridos pela Norma Brasileira NBR 15575-1/2013.

Palavras-chave: *Habitação de interesse social, conforto visual, desempenho lumínico.*

ABSTRACT

The Casa Alvorada prototype was designed to be a replicable model of a social housing residential unit. The project has proposed solutions based on sustainability, focusing mainly on the life cycle of materials and on principles of bioclimatic architecture. After 18 years of its construction, an analysis of post-occupation performance was developed, specifically to compare natural lighting conditions, before and after the growth of vegetation around it. The intensity of natural lighting was measured, with the aid of a lux meter and the obtained data were used as an input data in the ArcGIS program, which allowed the visualization of the luminance distribution, in the different rooms. By comparing the results last obtained to those recorded at the time of the building conclusion, it is possible to identify a decrease in the light levels entering through the openings. As expected, the shading of the windows, caused by

[1] SILVA, Alline Gomes Lamenha *et al*. Vegetação e Desempenho Lumínico: Avaliação do Protótipo Casa Alvorada, Porto Alegre/RS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

vegetation, reduced the lighting levels of internal spaces, which led to the non-compliance with the minimum requirements established in the Brazilian Regulation NBR 15575-1/2013.

***Keywords**: Social housing, visual comfort, lighting performance.*

1 INTRODUÇÃO

A Casa Alvorada constitui-se como um modelo de habitação popular de baixo custo e bom desempenho no tocante a vários aspectos associados à sustentabilidade. Após um convênio firmado entre a Prefeitura Municipal de Alvorada/RS e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, especificamente junto ao Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação[2], o projeto e a execução do protótipo foram desenvolvidos contando com a participação direta e ativa de professores e alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

O protótipo foi construído no Campus do Vale, da UFRGS, no município de Porto Alegre, junto ao Laboratório de Energia Solar e teve como premissa a adoção de tecnologias que promovessem a preservação do meio ambiente, assim como a otimização das condições de habitabilidade dos espaços construídos (SATTLER, 2007). Para tanto, a idealização do protótipo foi apoiada em estudos direcionados a todos os sistemas construtivos empregados, de modo a analisar as características associadas à habitabilidade, incluindo a otimização das condições de conforto lumínico na edificação, de acordo com a NBR 5413/1992 (SATTLER, 2007).

Com o surgimento da Norma de Desempenho (NBR 15575), em 2013, o setor da construção civil passou a dispor de requisitos mínimos orientadores para edificações residenciais. Segundo ela, um aspecto fundamental a ser considerado na elaboração de um projeto diz respeito à presença (ou possibilidade de sua presença futura) de obstáculos no entorno da edificação sendo projetada, tais como edificações, elementos arbóreos ou outros que possam barrar o ingresso da luz solar (ABNT, 2013).

Nesse sentido, o presente trabalho analisa os resultados de uma medição dos níveis de luminância dos ambientes internos do protótipo Casa Alvorada, comparando-os a resultados anteriores, referidos por Tavares e Baltar (2005), a fim de se verificar eventuais variações nos valores anteriormente obtidos, focando-se especificamente naquelas que possam ser atribuídas ao crescimento não controlado da vegetação. Adicionalmente, os resultados obtidos na recente medição foram confrontados com os requisitos presentes na Norma de Desempenho, NBR 15575-1/2013, de modo a verificar se a edificação atende às especificações normativas atuais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Ter um bom desempenho energético e otimizar o uso dos recursos naturais disponíveis são alguns dos requisitos a serem atendidos para que uma edificação seja considerada sustentável (KIBERT, 1994). Nesse contexto, a ventilação e iluminação estão incluídos de maneira a minimizar o consumo de eletricidade. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2019, o setor residencial foi responsável pelo consumo de 25,4% de toda a eletricidade consumida no Brasil no ano de 2018. Dessa

2 O Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) constitui-se em um núcleo de pesquisa na área de construção civil, vinculado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura (PPGCI) e ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizada em Porto Alegre – RS.

parcela, um total de 12,8% foi exclusivamente utilizado para a iluminação (MME, 2020). Ao consumir menos eletricidade, uma construção reduz seu impacto ambiental, visto que a matriz elétrica que fornece energia para a mesma possui um impacto ambiental considerável. No contexto brasileiro, estima-se que, para cada 100 kWh de eletricidade gerados, em média 6,5 kCO_2 são emitidos na atmosfera (TAVARES, 2006).

Nesse contexto, as Normas Técnicas NBR 15215/2005 e NBR 15575-1/2013 incentivam a utilização de iluminação natural. Para tal fim, a NBR 15215/2005 apresenta conceitos básicos associados à iluminação natural em ambientes internos e identifica os procedimentos requeridos para o seu cálculo e medição. Já a NBR 15575-1/2013 estabelece pré-requisitos e critérios de desempenho para os diversos sistemas que compõem uma edificação, de modo a se alcançar um nível de conforto ambiental adequado às necessidades de seus ocupantes.

No caso da segunda norma, ao abordar aspectos lumínicos, são estabelecidos pré-requisitos no tocante à Iluminância e ao Fator de Luz Diurna para três níveis de desempenho – mínimo, intermediário e superior. A iluminância identifica a intensidade de luz incidente sobre uma superfície (ABNT, 1992), ao passo que o Fator de Luz Diurna expressa, em forma de porcentagem, a fração do nível de iluminância ocorrente no entorno da edificação recebida por uma superfície (sendo ambas horizontais) localizada no seu interior (ABNT, 2005).

A primeira avaliação do desempenho lumínico do Protótipo Casa Alvorada (Figura 1) foi realizada por Tavares e Baltar (2005), buscando verificar "se a iluminação incidente no interior do protótipo correspondia aos requisitos estabelecidos pela NBR 5413/1992" (SATTLER, 2007, p. 309). Em sua avaliação constataram que, apesar de muitos dos pontos avaliados apresentarem valores de iluminância inferiores aos indicados pela Norma, os seus níveis de iluminamento foram considerados satisfatórios, com exceção daqueles localizados no banheiro. Porém, foi constatado haver uma distribuição não uniforme de luz nos diversos ambientes internos da casa.

Figura 1 - Protótipo Casa Alvorada, em data próxima à sua conclusão



Fonte: Autores (2020), imagens retiradas do Google Earth

Questões relativas à manutenção preventiva dos sistemas construtivos da edificação também são abordados pela NBR 15575/2013 (ABNT, 2013). No caso aqui estudado, verificou-se que, efetivamente ao longo dos anos, o crescimento das copas das árvores circundantes resultou no sombreamento de uma parcela considerável da área da envoltória da edificação.

A vegetação é utilizada, frequentemente, como recurso para aumentar a eficiência energética de edificações, contribuindo para: proporcionar o sombreamento de sua envoltória; elevar a umidade relativa do ar por meio da evapotranspiração; e promover melhor ventilação, já que pode ser posicionada de modo a direcionar

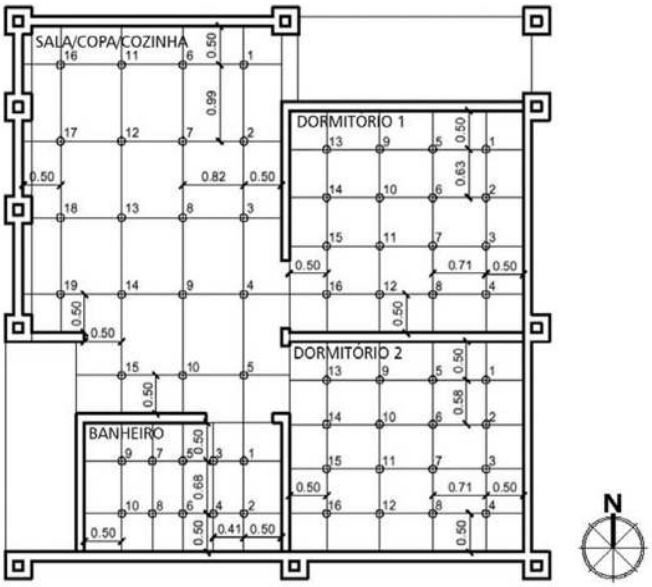
favoravelmente os ventos ocorrentes no local (MISNI; BAIRD; ALLAN, 2013). Assim sendo, desde que posicionada adequadamente e tendo o seu crescimento controlado regularmente, a vegetação pode desempenhar um papel efetivo na busca por redução do consumo de energia elétrica.

É importante destacar que, caso a vegetação obstrua a luz incidente em uma janela, mesmo que parcialmente, o desempenho lumínico do ambiente interno será prejudicado, demandando assim uma iluminação artificial complementar. Nesta direção, Misni, Baird e Allan (2013) comentam que o uso de elementos vegetativos, em busca de um aumento na eficiência energética de edifícios, deve ser bem planejado, de maneira a evitar efeitos paralelos indesejados.

3 MÉTODO

Foi realizada a verificação experimental das condições de iluminação interna da edificação de acordo com o prescrito na NBR 15215-4/2005 (ABNT, 2005b), definindo-se 25 pontos de medição, conforme mostra a Figura 2. Os pontos de coleta coincidem com os referidos em Sattler (2007), nas medições realizadas no protótipo, em 2005.

Figura 2 - Localização dos pontos de medição



Fonte: Adaptado de Satter (2007)

Para a coleta dos dados de iluminância (E_i), foi utilizado um luxímetro portátil digital modelo IP-410, da marca Impac, posicionado a uma altura de 75 cm do piso. Destaca-se que, nas medições realizadas por Tavares e Baltar (2005), foi utilizado outro tipo de luxímetro, também de precisão, da marca Instrutherm, modelo LDR-380.

As medições no interior da edificação foram complementadas por medições efetuadas na área externa (E_e), assim como foram registradas as condições de céu na ocasião. Tais medições permitiram calcular o Fator de Luz Diurna, que resulta da razão entre as iluminâncias internas (E_i) e a iluminância externa (E_e), todas para um mesmo horário. Os valores médios de Iluminância e do Fator de Luz Diurna para cada cômodo foram então comparados e a partir deles elaboradas as curvas Isolux, utilizando-se a técnica de interpolação de diferenças finitas iterativas, com auxílio do *software* ArcGIS.

Tanto para a medição realizada em 2005, disponível em Sattler (2007), quanto para as medições mais recentes, referidas no presente artigo, foi verificado o atendimento à NBR 15575-1/2013 no tocante à Iluminância e ao Fator de Luz Diurna. Essa avaliação foi realizada tanto em termos absolutos, considerando o valor médio das variáveis por cômodo, quanto em termos de sua distribuição espacial, possibilitando caracterizar o nível de desempenho lumínico. Para a avaliação da distribuição dos níveis de iluminamento foi utilizado o Coeficiente de Uniformidade obtido a partir da relação entre os valores mínimo e médio das iluminâncias de cada ambiente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3 é possível visualizar que o entorno da Casa Alvorada sofreu significativas mudanças em termos de distribuição e densidade de vegetação ao longo dos anos. Na imagem (a) referente à 2002, observa-se a presença de apenas um indivíduo arbóreo de maior porte, à sudoeste da edificação. No período de 2010 (b) e 2014 (c), a vegetação no entorno da edificação tornou-se gradativamente mais densa, chegando a cobrir mais de 50% da área de sua cobertura. Na imagem mais recente, de 2019 (d), observa-se que devido às atividades de limpeza do terreno, houve uma redução de vegetação no entorno do protótipo, fazendo com que sua cobertura voltasse a ficar exposta a um nível mais elevado de insolação.

Figura 3 - Situação da vegetação no entorno do Protótipo Casa Alvorada



Fonte: Autores (2020), imagens retiradas do Google Earth

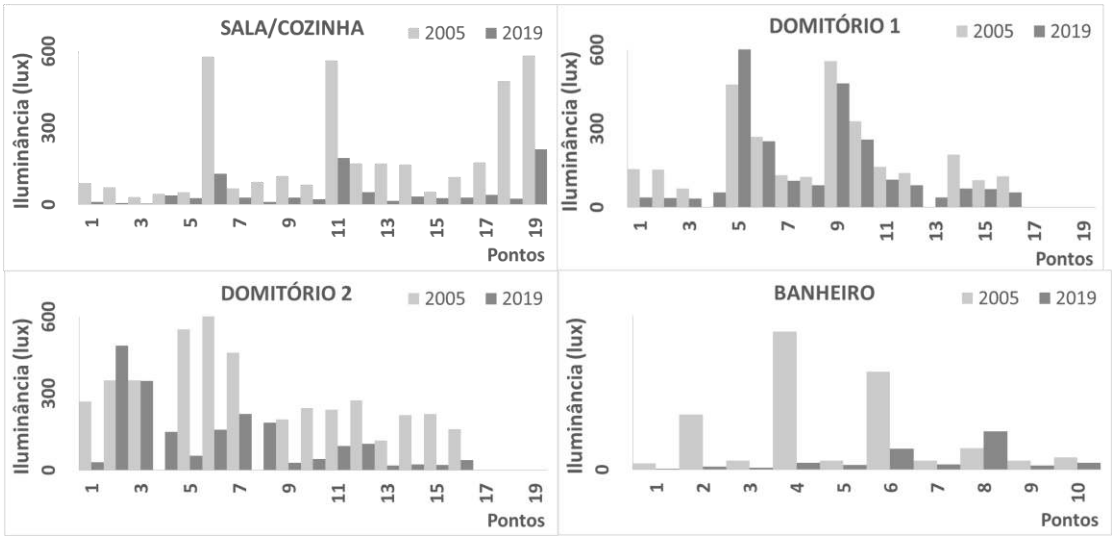
O valor de iluminância externa no trabalho de Tavares e Baltar (2005), às 16h09min (horário de verão) do dia 9/11/2005 foi de 18.600 lux e nas medições atuais realizadas, às 14h30min do dia 10/07/2019, o valor medido foi de 20.000 lux. Ressalta-se que esse dado é utilizado para o cálculo do Fator de Luz Diurna, possibilitando uma comparação efetiva dos níveis de iluminamento nos dois anos avaliados, reduzindo a influência das diferenças nas condições do céu entre os dois dias de medição.

As medições realizadas em 2019 permitem identificar uma redução dos valores de iluminância interna no protótipo, quando comparadas aos resultados obtidos em 2005. Na Figura 4, estão identificados os valores de iluminância para cada um desses ambientes. Vale referir que nos pontos 4 e 13 do Dormitório 1, e nos pontos 4 e 8 do Dormitório 2, não foram realizadas medidas em 2005.

Também são apresentados na Figura 4 os níveis de desempenho em termos de iluminamento, estabelecidos pela NBR 15575-1 para cada tipo de ambiente da habitação. Observa-se, pelos resultados obtidos nas medições de 2005, que apenas 11,1% dos pontos medidos não atendiam ao nível mínimo de desempenho estabelecido em Norma. Já nas medições realizadas no presente trabalho, a taxa de atendimento à Norma diminuiu significativamente. Assim sendo, verificou-se que no ambiente Sala/Cozinha apenas 15,8% dos pontos alcançaram o nível mínimo de desempenho; no Dormitório 1, o requisito foi atendido em 62,5% dos pontos; e no Dormitório 2, o atendimento ao nível mínimo de desempenho requerido em Norma

caiu para 50%. Para o Banheiro, apesar de não haver exigência de iluminamento natural para um desempenho lumínico mínimo, foi observada uma redução de 75% entre os valores medidos de iluminamento médio.

Figura 4 - Iluminâncias medidas por Tavares e Baltar (2005) e pelos autores (2019)

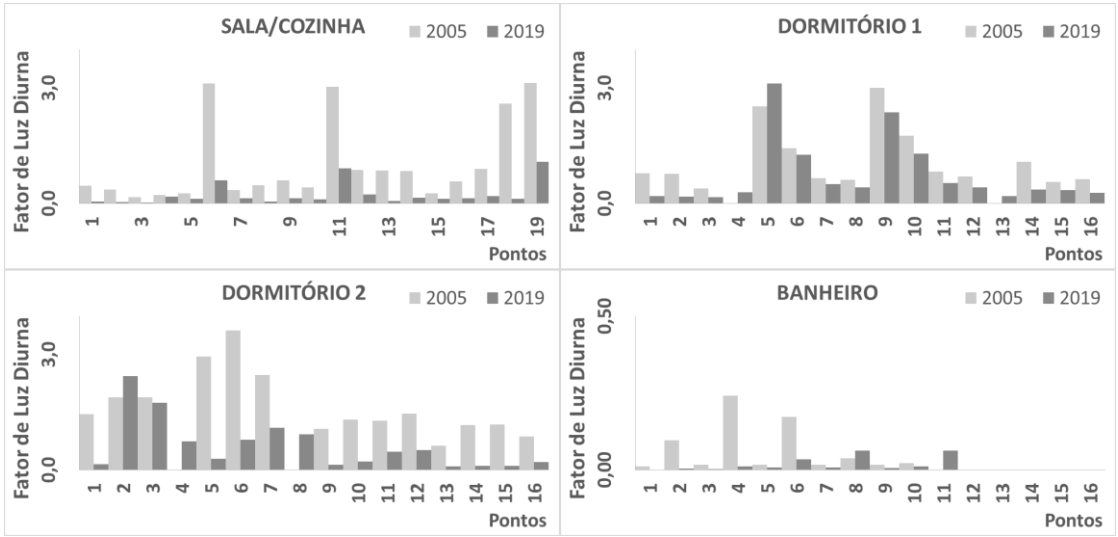


Dependência	Mínimo	Intermediário	Superior
Sala de Estar, Copa/cozinha, Dormitórios	≥ 60 lux	≥ 90 lux	≥ 120 lux
Banheiro	Não exigido	≥ 30 lux	≥ 45 lux

Fonte: elaborada pelos autores, com informações de NBR 15575-1 (2013)

Considerando que a iluminação natural no interior da edificação varia de acordo com as condições exteriores de iluminância, essa medida por si só não representa um parâmetro adequado para a comparação de desempenho da edificação, pois estão sendo considerados dois momentos em termos de datas e horários de medição. Desta forma, optou-se por averiguar também os valores de Fator de Luz Diurna em cada um dos pontos de medição. Os resultados obtidos estão ilustrados nos gráficos apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, nos quais é possível observar a redução do Fator de Luz Diurna em praticamente todos os ambientes da edificação.

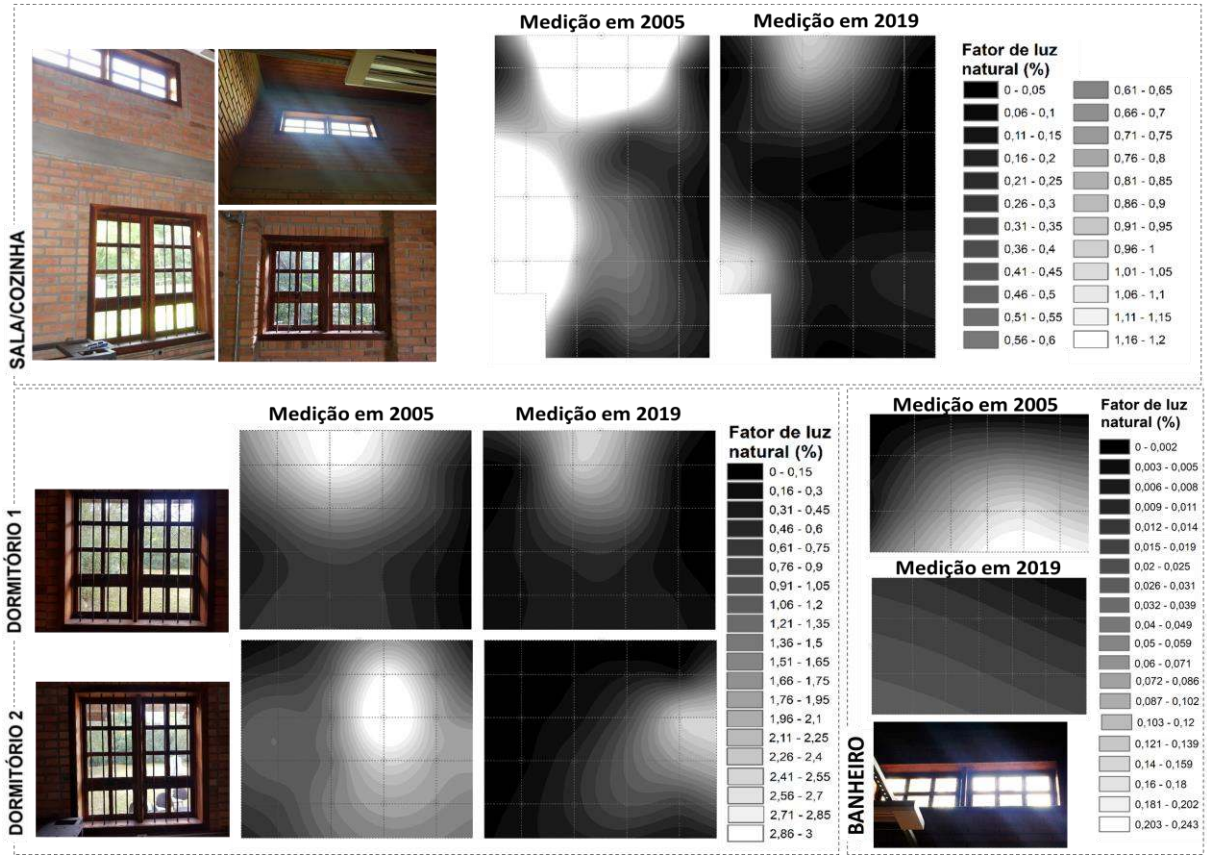
Figura 5 - Fatores de Luz Diurna para as medições de 2005 e 2019



Fonte: Autores (2020)

Para ilustrar as diferenças encontradas, foram interpoladas as curvas Isolux elaboradas para cada um dos ambientes. Os resultados obtidos são apresentados em seguida, na Figura 6. Para a Sala/Cozinha, é possível observar que na medição de 2019 houve uma redução significativa no valor do Fator de Luz Diurna, relativamente à medição de 2005, apesar de ser identificável uma semelhança em sua distribuição no ambiente. No Dormitório 1 foram observadas as menores variações em termos quantitativos e de distribuição de luz; no Dormitório 2 foram observadas tanto reduções no valor do Fator de Luz Diurna como mudanças em sua distribuição; por último, no Banheiro do protótipo, ambiente com menor iluminamento, foram observadas variações tanto quantitativas, quanto na distribuição espacial de seus valores. Os valores requeridos pela NBR 15575-1/2013 para os diferentes ambientes de uma edificação estão indicados na Figura 6.

Figura 6 - Curvas Isolux, do Fator de Luz Natural



Dependência	Mínimo	Intermediário	Superior
Sala de Estar, Copa/cozinha, Dormitório	≥ 0,50%	≥ 0,65%	≥ 0,75%
Banheiro	Não exigido	≥ 0,25%	≥ 0,35%

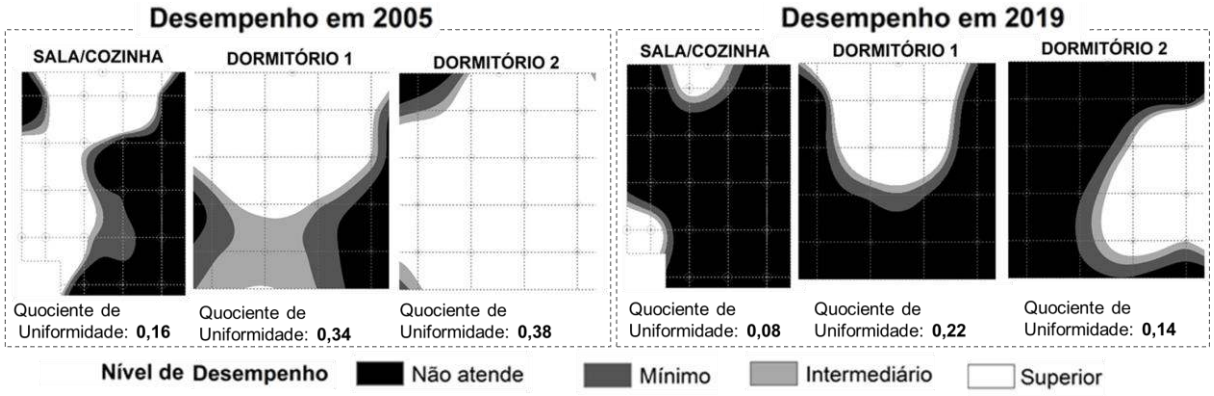
Fonte: elaborada pelos autores, com informações de de NBR 15575-1 (2013)

Dessa forma, verifica-se uma queda no atendimento aos requerimentos de Norma. Na Sala/Cozinha, os 63,2% dos pontos em conformidade em 2005 ficam reduzidos a 15,8%, em 2019; no Dormitório 01, onde 92,9% dos pontos medidos em 2005 cumpriam o requisito, houve um decréscimo neste percentual para 37,5%, em 2019; já no

Dormitório 02, que em 2005 apresentou todos os pontos medidos atendendo ao requisito mínimo de desempenho, em 2019 também observa-se uma queda, com o percentual decrescendo para 43,8% dos pontos em conformidade. Para o Banheiro, apesar não haver exigência de desempenho mínimo específica para o Fator de Luz Diurna, foi observada uma redução de 70%, em relação ao valor médio registrado em 2005.

O atendimento aos requisitos de desempenho quanto ao Fator de Luz Diurna encontra-se ilustrado na Figura 7, onde são identificadas as situações ocorrentes para cada um dos ambientes da habitação, bem como uma análise do grau de uniformidade na distribuição dos níveis de iluminamento, sendo este grau expresso pelo Quociente de Uniformidade. As imagens permitem identificar as variações ocorridas no nível de desempenho lumínico para cada um dos ambientes analisados.

Figura 7 - Atendimento aos níveis de desempenho, quanto ao Fator de Luz Diurna



Fonte: Autores (2020)

Nas imagens, também é possível observar que os pontos melhor iluminados naturalmente, conforme esperado, encontram-se nas proximidades das janelas inferiores. Também é possível identificar como o desempenho lumínico gradualmente fica prejudicado à medida em que aumentam as distâncias em relação às aberturas. A amplitude nos níveis de iluminamento, bem como a forma de distribuição das curvas Isolux, também contribuem para melhor avaliar o conforto lumínico proporcionado pelos ambientes, que normalmente pode ser associado ao quociente de uniformidade. Em 2005, a distribuição do iluminamento nos ambientes apresentou-se aquém da desejável. Em 2019, o problema dessa má distribuição é agravado, com a redução no quociente de uniformidade em todos os ambientes, havendo, inclusive, o risco de ocorrer ofuscamento, bem como uma redução significativa em termos de conforto visual.

5 CONCLUSÕES

Por meio da comparação entre as medições realizadas no Protótipo Casa Alvorada em 2005, por Tavares de Baltar, e em 2019, nas novas medições referidas neste trabalho, verificou-se uma queda substancial nos níveis medidos de iluminância, como pode-se constatar ao analisar e comparar os valores obtidos nas duas medições. Os dados colhidos identificam, inclusive, um baixo nível de iluminamento na maioria dos cômodos, o que conduz ao não atendimento aos limites mínimos exigidos pela NBR 15575:2013 quanto ao requisito de iluminação.

Desta maneira, conclui-se haver um comprometimento do conforto lumínico e visual

do usuário, valendo-se exclusivamente dos recursos de uma iluminação natural, quando comparadas as duas medições. Verificou-se que isto ocorreu tanto nos dormitórios, onde houve uma redução de quase 50%, quanto na área social, onde a diminuição foi de cerca de 20%. Efeito semelhante foi verificado ao se empregar como referência para comparações o Fator de Luz Diurna, apontando que nos dormitórios houve uma queda de quase 50%, enquanto na área social, a diminuição foi identificada como sendo da ordem de 25%.

Os resultados obtidos na última medição, apresentando valores abaixo dos medidos na primeira vez, identificam a obstrução de luz dado o crescimento de vegetação próximo às fachadas da edificação como o fator responsável pela diminuição do iluminamento médio interno. Dessa forma, embora sejam inegáveis os ganhos em conforto térmico tidos com a presença de vegetação junto às fachadas de uma edificação, quando trata-se do conforto visual do usuário, a inclusão de espécimens vegetais nas proximidades de aberturas pode também gerar impactos negativos, comprometendo o desempenho lumínico.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 13 p., 1992.

_____. **NBR 15215-1**: Iluminação natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 5 p., 2005a.

_____. **NBR 15215-4**: Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro, 16 p., 2005b.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais – Parte 1: Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 71 p., 2013.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2018.** Rio de Janeiro. 2019.

Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética – MME/EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029.** Brasília. 2020.

MISNI, A.; BAIRD, G.; ALLAN, P. The effect of landscaping on the thermal performance of housing. **International review for spatial planning and sustainable development**, v.1, n.1, p. 29-48, 2013. ISSN: 2187-3666. Disponível em: <https://doi.org/10.14246/irspsd.1.1_29>. Acesso em: 7 de maio 2020.

KIBERT, C. J. Sustainable Construction. **Proceedings of the First International Conference of CIB TG 16**, November 6-9, 1994, Tampa, Florida, USA. University of Florida Center, 1994.

TAVARES, S. **Metodologia de Análise de Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis. Abril de 2006.

TAVARES, S. G.; BALTAR, M. G. **Avaliação da iluminação natural interna do Protótipo Habitacional Alvorada**. UFRGS/NORIE.Trabalho de aula. Porto Alegre, 2005. (Trabalho não publicado).

SATTLER, M. A. **Habitações de baixo custo mais sustentáveis: a casa Alvorada e o Centro Experimental de tecnologias habitacionais sustentáveis.** Porto Alegre: ANTAC. Coleção Habitare, v. 8, 488 p., 2007.