ANÁLISE COMPARATIVA DO ATENDIMENTO AO DESEMPENHO MÍNIMO DE ILUMINAÇÃO NATURAL DA NBR 15575:2013 E DA PROPOSTA DE REVISÃO PARA AMBIENTES COM ABERTURAS ILUMINADAS POR FOSSO

Ana Lúcia Chagas Barbosa Santos (1); Ana Paula Campos Rodrigues (2); Nathali Martins Padovani (3); Ana Carolina de Oliveira Veloso (4); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (5)
(1) Especialista, Arquiteta Urbanista, aluna de disciplina isolada no Curso de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, analu@verdiarquitetura.com.br;
(2) Especialista, Arquiteta Urbanista, aluna de disciplina isolada no Curso de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, anapaula-campos@hotmail.com;
(3) Especialista, Arquiteta Urbanista, aluna de disciplina isolada no Curso de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, nathalipadovani@gmail.com;
(4) Dra, Arquiteta, LABCON-UFMG, acoveloso@gmail.com;
(5) Dra, Professora do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, roberta@arq.ufmg.br;
Universidade Federal de Minas Gerais, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído, Belo Horizonte, MG, Rua Paraíba, 697, sala 124, CEP 30130-140, (31) 3409-8825.

RESUMO
Este trabalho compara o atendimento ao desempenho mínimo de iluminação natural em recintos com aberturas voltadas para fosso, conforme critérios e requisitos estabelecidos tanto pela norma de desempenho, ABNT NBR 15575:2013, quanto pela proposta de sua revisão, apresentada pela Comissão de Estudo de Revisão, em 2019. Foram utilizados os métodos de cálculos matemáticos e de simulação computacional estática para análise quanto à ABNT NBR 15575:2013 e, para a proposta de revisão, foram utilizados o método simplificado por ábacos e a simulação computacional dinâmica. Foram analisados os ambientes sala conjugada com cozinha e área de serviço, situados nos 1º e 4º pavimentos com aberturas voltadas para fosso, de um edifício vertical multifamiliar de interesse social, para duas orientações distintas, em três cidades brasileiras. Os resultados da análise da norma vigente apresentaram atendimento ao nível mínimo de iluminação natural para todos as dependências. Já para a proposta da revisão, apenas os recintos no 1º pavimento da cidade de menor latitude, atenderam aos critérios após o aumento do número de rebatimentos na simulação. Os dados parecem indicar a necessidade de critérios de avaliação específicos para ambientes iluminados por fosso. Caso contrário, a construção civil precisará rever, de forma sistêmica, a concepção de suas edificações, visando o atendimento aos critérios propostos pela revisão da norma.

Palavras-chave: Norma de Desempenho, iluminação natural, iluminância, simulação computacional.

ABSTRACT
This paper compares the regulation compliance regarding the natural lighting minimum performance in areas with openings facing the building void, established both by the performance standard, ABNT NBR 15575: 2013, and by its propositional review, presented by the Review Study Commission, in 2019. The mathematical calculations and the static computational simulation methods were used to analyze the regulation ABNT NBR 15575:2013. For the propositional review, the abacus simplified method and the dynamic computational simulation were used. The open living room combined with the kitchen and the laundry area, located on the 1st and 4th floors with building voids, were analyzed in a social interest multifamily vertical building, for two distinct orientations, in three Brazilian cities. The results regarding the current regulation met, in all areas, the lowest natural lighting performance. On the other hand, the results regarding the propositional regulation review only met the criteria with the rooms located on the first floor in cities with the lowest latitude, after the number of ambient bounces was increased. The data seem to indicate the need for specific assessment criteria for areas with openings facing the building void. Otherwise, constructors will need to review, in a systemic way, their design, to meet the criteria proposed by the regulation propositional review.

Keywords: Performance standard, daylighting, illuminance, computer simulation

1. INTRODUÇÃO

Além de agregar qualidade ao ambiente interno, quando corretamente captada e distribuída em um determinado recinto, a iluminação natural gera benefícios biológicos aos seres humanos, dada a sua importância para a saúde e o bem-estar. Todavia, apesar de sua relevância, observa-se que o correto dimensionamento do sistema de iluminação natural é pouco explorado, uma vez que, nem sempre são consideradas nos estudos de projeto todas as características do edifício, das dependências internas e do entorno (BOLSSONI, *et al*. 2018).

A quantidade de luz natural que uma edificação recebe em suas superfícies externas depende da localização geográfica, da orientação das aberturas, do tipo de céu, da forma, do entorno e também da refletividade do entorno e das superfícies internas. A volumetria, a altura, o espaçamento entre os edifícios, o coeficiente de reflexão, entre outras características, também influencia o comportamento da luz natural no ambiente interno (BARBOSA E CÁBUS, 2020; CASTRO *et al.,* 2015; CINTRA, 2011; LEAL e LEDER, 2018).

Segundo Castro *et al.* (2015), as obstruções externas do entorno, assim como a geometria do próprio edifício, podem bloquear o sol dificultando a entrada de luz natural pelas aberturas. Em determinadas situações, essas obstruções podem potencializar a admissão da luz natural nos recintos por meio de reflexões (ARAÚJO E CABÚS, 2007) ou podem reduzir o acesso a luz natural de áreas internas em função da obstrução da parcela de céu visível, sendo sugerida a adoção de ângulos máximos de obstrução do céu (LEAL e LEDER, 2018).

A implantação de condomínios verticais de habitação de interesse social possui predominância de edifícios com "core" central (fosso), cuja função é consolidar várias unidades habitacionais em um mesmo "hall" otimizando espaço no terreno (MORAIS e LABAKI, 2017), o que resulta na obstrução da parcela de céu visível, especialmente para as dependências localizadas no pavimento térreo.

Por isso, Cintra (2011) afirma que, ao serem definidas normas ou regras para a iluminação natural, as particularidades de cada localidade e da própria edificação devem ser levadas em consideração. Um dos requisitos abordados pela primeira parte da ABNT NBR 15.575 (ABNT, 2013) é o Desempenho Lumínico, onde são estabelecidos níveis mínimos de iluminância natural para edificações habitacionais, ressaltando a importância de se projetar moradias com um bom aproveitamento da luz natural.

2. OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo comparar o atendimento ao desempenho mínimo de iluminação natural em recintos com aberturas voltadas para fosso, estabelecido tanto pela norma de desempenho, ABNT NBR 15575:2013, quanto pela proposta de sua revisão apresentada pela Comissão de Estudo de Revisão, em 2019.

3. MÉTODO

A análise do desempenho lumínico foi realizada para os ambientes sala conjugada com cozinha e área de serviço, situados nos 1º e 4º pavimentos com aberturas voltadas para fosso, com duas orientações distintas, de um modelo genérico de apartamento de edificação multifamiliar vertical de interesse social, de quatro pavimentos, para três localidades do país: Belém/PA (latitude entre 5°N e 9,9°S), Belo Horizonte/MG (latitude entre 10°S e 19,9°S) e Porto Alegre/RS (latitude entre 20°S e 34°S), escolhidas em função da divisão dos ábacos propostos pela Revisão da Norma de Desempenho.

Inicialmente, os níveis de iluminância natural foram avaliados através de cálculos matemáticos, conforme métodos, dias e horários indicados na versão atual da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) e por simulação computacional estática. Posteriormente, o desempenho lumínico foi avaliado com base nas propostas da Comissão de Estudo de Revisão da Norma de Desempenho - ABNT/CE-002:136.001 (CBIC, 2019), por meio dos métodos simplificado por ábacos e de simulação computacional dinâmica.

Por último, foi realizada a análise comparativa entre os resultados obtidos.

3.1 Dados de entrada para as avaliações

Conforme apresentado na Figura 1, a sala conjugada com a cozinha e área de serviço das unidades 1 e 4 do 1º e do 4º pavimento foram avaliadas quanto ao desempenho lumínico, sendo possível analisar o comportamento da reflexão externa proveniente das fachadas voltadas para o fosso.



Figura 1 - Unidades avaliadas: (A) Planta, (B) Cortes.

A Tabela 1 apresenta as características dos ambientes avaliados. Na Tabela 2, foram indicadas as refletâncias adotadas para as superfícies opacas, com predominância em cores claras, visando a otimização do atendimento ao nível mínimo de iluminância. Na Tabela 3, foram especificadas as características dos vidros das portas e janelas.

Tabela 1 - Características dos ambientes

Pav.	Pé Direito	Altura Verga (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Área Piso (m²)	1/6 Área do Piso (m²)	Área da abertura (m²)
1º	2,5	Janela = 2,20	2,05	2,70	16.88	2,81	Janela = 1,20
		Porta = 2,10	4,10				Porta = 1,89
4º	2,5	Janela = 2,20	2,05	2,70	16.88	2,81	Janela = 1,20
		Porta = 2,10	4,10				Porta = 1,89

Tabela 2 - Refletâncias superfícies opacas

Locais	Material	Refletância (ρ)	Fonte
Teto	Pintura branco neve	83%	Dornelles (2008)
Piso (interno e externo)	Cerâmica cor marfim	66%	
Paredes internas	Pintura e cerâmica cor branco gelo	70%	
Fosso	Pintura texturizada cor palha	70%	
Platibanda e muros	Pintura cor branco gelo	70%	

Tabela 3 - Características superfícies envidraçadas

Locais	Material	Cor	Transmitância (luz visível)	Fonte
Janelas e Portas	Vidro simples (espessura 4 mm)	Incolor	88%	CBIC (2019)

3.2 Avaliações conforme a ABNT NBR 15.575:2013

As avaliações foram realizadas visando a obtenção do nível mínimo de iluminância (60 lux) para os períodos da manhã (9:30 h) e da tarde (15:30 h), respectivamente para os dias 23 de abril e 23 de outubro, para o centro dos ambientes, na altura de 0,75 m acima do nível do piso (ABNT, 2013). Como a ABNT NBR 15.575:2013 não descreve método para a obtenção do centro de ambientes conjugados, o ponto central foi definido a partir do centro geométrico do conjunto sala, cozinha e área de serviço, como representado na Figura 1. Foram

considerados ambientes com a iluminação artificial desativada e sem a presença de obstruções opacas (janelas, cortinas e portas internas abertas), conforme recomendações da Norma (ABNT, 2013).

Nos edifícios multipiso, são admitidas para as dependências situadas no pavimento térreo, níveis de iluminância ligeiramente inferiores aos valores especificados acima, sendo aceita a diferença máxima de 20% para qualquer recinto, equivalendo o nível mínimo a 48 lux (ABNT, 2013).

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece como método de avaliação o emprego do algoritmo apresentado na NBR 15.215-3 (ABNT, 2005) e condiciona a suposição de dias com nebulosidade média (índice de nuvens 50%).

Para o procedimento de cálculo matemático, conhecido como método do fluxo dividido, e dentre as opções de céu disponibilizadas pela de NBR 15.215-3 (ABNT, 2005), considerou-se a iluminância externa de um céu parcialmente encoberto, e os Diagramas de Contribuição Relativa de Luz (DCRL) para o céu claro, de acordo com as altitudes solares das cidades, dos dias e horas analisadas.

Esse procedimento considera os três caminhos básicos da divisão do fluxo luminoso por meio de três componentes: a celeste (CC), a refletida externa (CRE) e a refletida interna (CRI). A partir das máscaras de obstrução construídas para o ponto central dos ambientes (Figura 2), foram encontrados os valores da CC, da CRE e da CRI. Através da soma destas três componentes, os coeficientes relativos aos diversos efeitos redutores foram acrescentados, resultando na estimativa da contribuição de iluminação natural (CIN), conforme apresentado na Equação 1 (ABNT, 2005).

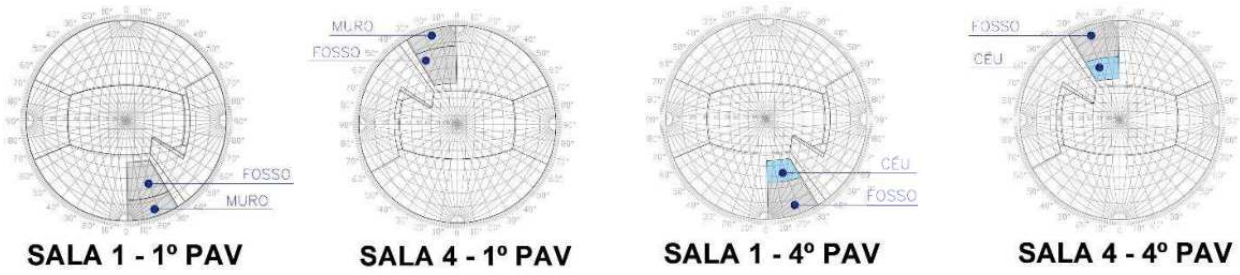


Figura 2 – Máscaras de obstrução para os pontos avaliados.

$$CIN = [CC + CRE + (FM * CRI)] * KT * KM * KC \quad \text{Equação 1}$$

Onde:
FM é o fator de manutenção das superfícies internas [0,75];
KT é a transmissividade do vidro [0,88];
KM é o fator de manutenção do vidro [0,75];
KC é o fator de caixilho [0,78]

A CIN multiplicada pela iluminância externa num plano horizontal (EHext/100%), resultará na iluminância de determinado ponto em um ambiente interno (Ep), conforme Equação 2. A iluminância externa de cada localidade (Tabela 4) foi calculada de acordo com as prescrições da NBR 15215-3 (ABNT, 2005).

$$Ep = (CIN * EHext) / 100(\%) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:
CIN é a contribuição de iluminação natural;
EHext é a iluminância (lux) externa horizontal para céu parcialmente encoberto.

Tabela 4 - Dias e horários analisados, altura solar (º), iluminância externa (lux)

Dia	Hora	Belém/PA		Belo Horizonte/MG		Porto Alegre/RS	
		Altura solar (º)	Iluminância externa (lux)	Altura solar (º)	Iluminância externa (lx)	Altura solar (º)	Iluminância externa (lx)
23/abr	9:30	54	30.246	40	24.699	38	23.580
23/abr	15:30	32	20.697	29	19.169	19	13.071
23/out	9:30	58	31.775	56	30.957	59	31.917
23/out	15:30	30	19.299	36	22.747	30	19.191

Considerando que os cálculos matemáticos da NBR 15.215-3 (ABNT, 2005) não representam de forma efetiva a influência da reflexão em cânions (GUIDI *et al*., 2013) e, consequentemente, em fossos, para a

obtenção de valores de iluminância mais precisos no ponto central dos ambientes avaliados para as três localidades, foram realizadas simulações computacionais estáticas pelo *software* ReluxPro versão 2016.1.1.0.

As simulações estáticas foram realizadas sob as mesmas condições e dados de entrada considerados nos cálculos matemáticos, sendo que, dentre as duas opções de céu disponibilizadas pelo *software* – céu limpo e céu encoberto, optou-se por céu limpo com componente indireta média, por considerar as variações de iluminância de acordo com as diferentes datas e horários.

3.3 Avaliações conforme proposta de revisão da ABNT NBR 15.575:2013

O método simplificado proposto pela Comissão de Estudo de Revisão da Norma de Desempenho (CBIC, 2019), permite a verificação do nível de desempenho apenas para ambientes com geometria regular que dispõem de abertura com área mínima de 1/6 da área do piso, pé-direito de 2,5 metros a 2,8 metros, altura mínima da verga de 2 metros, vidro com transmissão visível de 88% e refletâncias mínimas das superfícies internas: teto 70%, parede 40% e piso 20%, com base nos ábacos elaborados para as latitudes indicadas na Figura .



Figura 3 - Método simplificado – Ábacos. Fonte: CBIC, 2019.

Neste estudo, a partir da latitude de cada cidade analisada (Tabela 5), foram identificados os ábacos correspondentes e caracterizada a faixa de largura do ambiente conjugado. O índice "P" do ambiente foi calculado pela Equação 3 e o ângulo de obstrução do ambiente foi obtido através da Equação 4 (CBIC, 2019):

$$P = \frac{largura}{profundidade} \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:
P é o índice que representa a relação entre a largura e a profundidade do recinto.
Profundidade é a distância do ambiente no sentido perpendicular à abertura.

$$\theta = \arctan = \frac{h}{a} \qquad \text{Equação 4}$$

Onde:
θ é o ângulo de obstrução do ambiente;
h é a altura da obstrução considerada a partir da altura da verga;
a é a distância do ambiente em relação à obstrução.

Tabela 5 - Localidade, latitude, ábaco, índice do ambiente e ângulo de obstrução

LATITUDES / ÁBACOS (Fonte: RORIZ, 2004)			**ÍNDICE DOS AMBIENTES E ÂNGULOS DE OBSTRUÇÃO**							
			Pavto	**Altura Verga (m)**	**Largura (m)**	**Prof. (m)**	**Índice "P"**	**"h" (m)**	***a* (m)**	**Ângulo Obst.**
Cidade	**Latitude**	**Ábaco**	**1º**	Jan Coz = 2,20	2,05	2,70	0,75	C = 9,40	5,00	**C = 62º**
Belém/PA	-1,45	**1**		Porta Sala = 2,10	4,10	2,70	1,51	S = 9,50		**S = 62º**
B. Horiz./MG	-19.92	**2**	**4º**	Jan Coz = 2,20	2,05	2,70	0,75	C = 1,60	5,00	**C = 17º**
P. Alegre/RS	-30.03	**3**		Jan Sala = 2,10	4,10	2,70	1,51	S = 1,70		**S = 18º**

* Legenda: C = Cozinha, S = Sala

Para a obtenção da estimativa da iluminação natural, simulações computacionais dinâmicas foram realizadas no *plug-in* DIVA-for-Rhino, a partir da modelagem da edificação no *software* Rhinoceros 3D, que simula a iluminação natural de forma integrada com o *software* Daysim, já validado pela comunidade científica internacional (PEREIRA, 2017).

As simulações computacionais avaliaram o nível de desempenho lumínico para os ambientes a partir dos arquivos climáticos das cidades de Belém (PA), Belo Horizonte (MG) e Porto Alegre (RS), obtidos no *website* do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020).

Partindo do princípio de que o parâmetro *ambient bounces* (ab) considera o número de vezes que um raio de luz pode ser rebatido ou transmitido nas superfícies antes de ser descartado (REINHART, 2010), para as simulações, foram adotados os valores de 4ab, 5ab e 7ab. De acordo com a primeira proposta de revisão da Comissão de Estudos CE-002:136.001 (CBIC, 2019) para os requisitos de desempenho lumínico estabelecidos na NBR 15.575 (ABNT, 2013), visando garantir simultaneamente os critérios denominados como Suficiência e Uniformidade, os resultados foram analisados para o período das 8:00 às 18:00 horas, num plano de referência a 0,75m do piso, sob a métrica *sDA - Spatial Daylight Autonomy* (Autonomia Espacial de Iluminação Natural).

Com isso, o desempenho é estabelecido como mínimo quanto à Suficiência se *sDA 250,50%, ≥40%*, ou seja, se pelo menos 40% da área do plano de referência atende, em 50% do tempo analisado, o nível mínimo de iluminância de 250 lux; como intermediário se *sDA 250,50%,≥ 55%*; e como superior se *sDA 250,50%,≥ 70%*. Para o critério de Uniformidade, o desempenho é tido como mínimo se *sDA 100,50%, ≥ 60%*, ou seja, se pelo menos 60% da área do plano de referência atende, em 50% do período analisado, o nível de iluminância de 100 lux; como intermediário se *sDA100,50%,≥ 75%; e como superior se 100,50%,≥ 90%.* Neste trabalho, as avaliações foram realizadas visando ao atendimento dos níveis mínimos.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram apresentados para os diferentes pavimentos avaliados conforme os métodos adotados e compilados em gráficos para facilitar a análise de dados.

4.1 Resultados das avaliações conforme a ABNT NBR 15.575:2013

Como apresentam os gráficos da Figura , pelo método de cálculos matemáticos da NBR 15.215-3 (ABNT, 2005), referenciados na versão atual da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), todos os valores de iluminância calculados para o ponto central dos ambientes nas três cidades analisadas atenderam ao desempenho mínimo para o 1° e 4º pavimento, 48 lux e 60 lux respectivamente, sendo observados altos níveis de iluminância. Mesmo sabendo que há uma inconsistência entre o que a NBR 15.575 (ABNT, 2013) determina (céu com 50% de nuvens) e o método de cálculo da NBR 15.215-3 (ABNT, 2005) apresenta (DCRL para céu claro ou encoberto), o que se observa é que os valores obtidos pelos cálculos matemáticos para as iluminâncias no ponto central dos ambientes analisados tem um resultado superior aos obtidos pelas simulações estáticas.

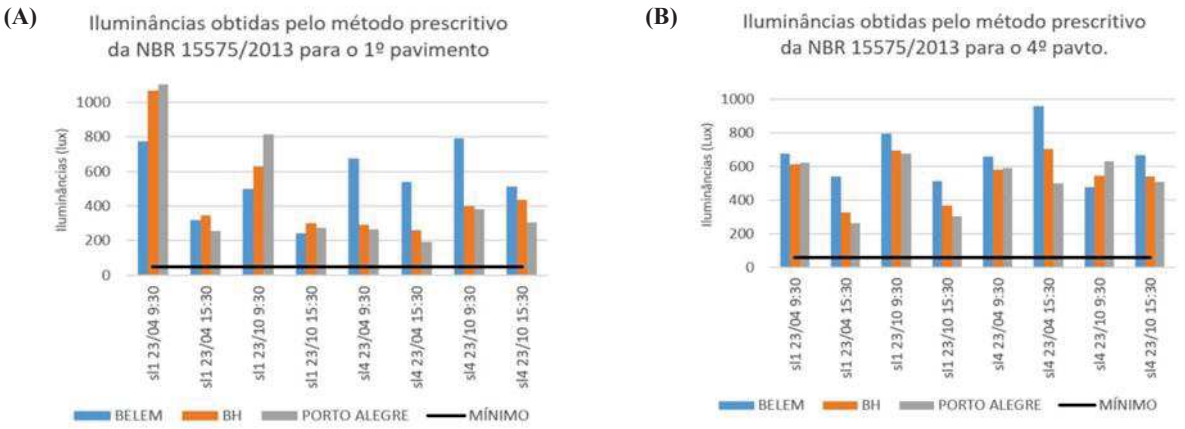


Figura 4 - Iluminâncias obtidas por cálculos matemáticos da NBR 15575: **(A)** 1º pavto, **(B)** 4º pavto

Através das simulações computacionais estáticas realizadas pelo programa ReluxPro versão 2016.1.1.0, foi evidenciado uma redução nos valores de iluminância e menor percentual de atendimento aos critérios da NBR 15.575 (ABNT, 2013), especialmente para os ambientes do 1º pavimento.

Foi constatado pelos gráficos da Figura , que em Belo Horizonte e em Porto Alegre o nível mínimo de 48 lux não foi alcançado no dia 23/04 às 15h30 apenas para os ambientes analisados no 1º pavimento. Em relação aos ambientes do 4º pavimento, o desempenho mínimo foi atendido em todas as situações analisadas.

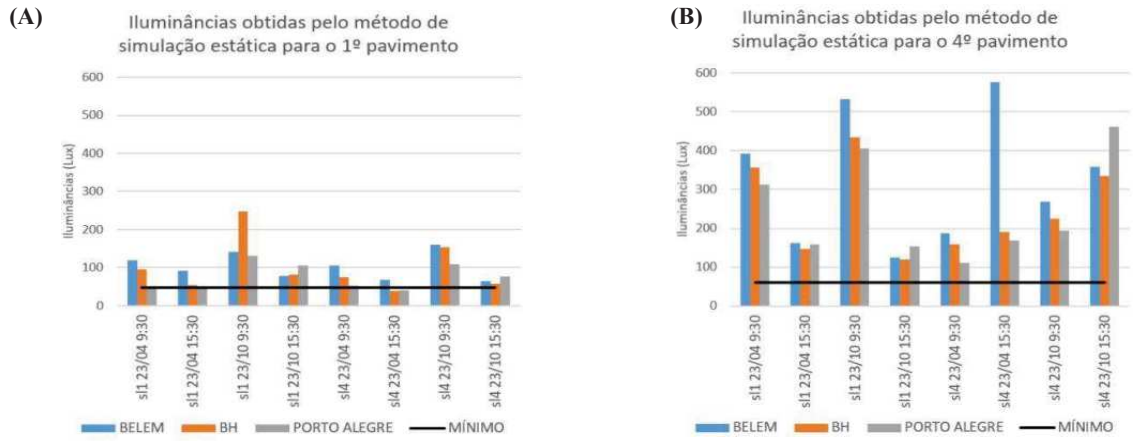


Figura 5 - Iluminâncias obtidas pelo método de simulação estática (ReluxPro): **(A)** 1º pavto, **(B)** 4º pavto

De acordo com os estudos apresentados por Guidi *et al* (2013) e com os valores apurados pelas simulações estáticas, fica evidente que o procedimento por cálculo matemático indicado na NBR 15.575 (ABNT, 2013) não é capaz de analisar adequadamente a admissão da luz natural nos ambientes internos por meio de reflexões no cânion, que, no caso desta pesquisa, é representado pelo fosso proveniente da geminação entre blocos de apartamentos. Tal método superestima os níveis de iluminância no centro dos recintos, uma vez que considera apenas uma reflexão entre o céu e a superfície oposta (SOUZA, 1997).

4.2 Resultados das avaliações conforme proposta de revisão da ABNT NBR 15.575:2013

Ao serem realizadas as análises pelo método simplificado por ábacos (CBIC, 2019), o nível de desempenho foi averiguado a partir da latitude de cada localidade e das condições de contorno dos ambientes, conforme as características projetuais pré-estabelecidas, sendo que a influência do entorno foi contabilizada de maneira simplificada.

Devido aos valores dos ângulos de obstrução obtidos no fosso (Tabela 5), o procedimento comparativo indicou para as três cidades, que os ambientes situados no 1º pavimento não atendem o desempenho mínimo para os critérios de Suficiência e Uniformidade pelo método simplificado, requerendo uma análise por simulação computacional (Tabela 6).

Em relação aos ambientes situados no 4º pavimento, constatou-se o atendimento aos critérios determinados tanto para Suficiência (250 lux) quanto para Uniformidade (100 lux), em todas as localidades. Tal fato evidencia a limitação do método para ambientes no 1º pavimento que são iluminados por fosso, restringindo a avaliação destas tipologias construtivas pelo método simplificado.

Tabela 6 - Método simplificado por "ábacos"

LOCAL	ÁBACO	PAVTO	AMBIENTE	SUFICIÊNCIA (250 lux)	UNIFORMIDADE (100 lux)
Belém (PA)	1	1º PAV	Cozinha	Requer Simulação Computacional	Desempenho Atendido
			Sala	Requer Simulação Computacional	Desempenho Atendido
		4º PAV	Cozinha	Desempenho Atendido	Desempenho Atendido
			Sala	Desempenho Atendido	Desempenho Atendido
Belo Horizonte (MG)	2	1º PAV	Cozinha	Requer Simulação Computacional	Desempenho Atendido
			Sala	Requer Simulação Computacional	Desempenho Atendido
		4º PAV	Cozinha	Desempenho Atendido	Desempenho Atendido
			Sala	Desempenho Atendido	Desempenho Atendido
Porto Alegre (RS)	3	1º PAV	Cozinha	Requer Simulação Computacional	Requer Simulação Computacional
			Sala	Requer Simulação Computacional	Desempenho Atendido
		4º PAV	Cozinha	Desempenho Atendido	Desempenho Atendido
			Sala	Desempenho Atendido	Desempenho Atendido

Diante dos dados levantados pelo método simplificado e considerando a existência do fosso, simulações computacionais foram realizadas pelo *plug-in* Diva-for-Rhino, visando a obtenção de resultados mais precisos. Embora Reinhart (2010) sugira o emprego do valor de 7ab (*ambient bounces*) apenas quando da existência de elementos complexos nas fachadas, como a presença de venezianas ou brises, esse parâmetro foi adotado de forma experimental e os resultados para autonomia de luz natural, quanto aos critérios de Suficiência e Uniformidade, apresentados na Figura 6 e na Figura 7, respectivamente.

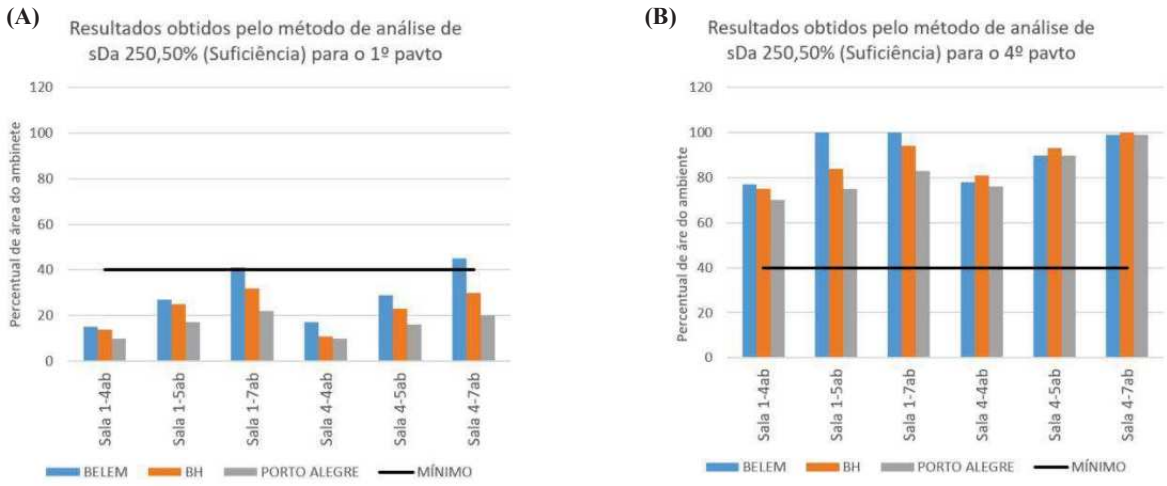


Figura 6 - Autonomia de Luz Natural quanto a suficiência: (A) 1º pavimento, (B) 4º pavimento

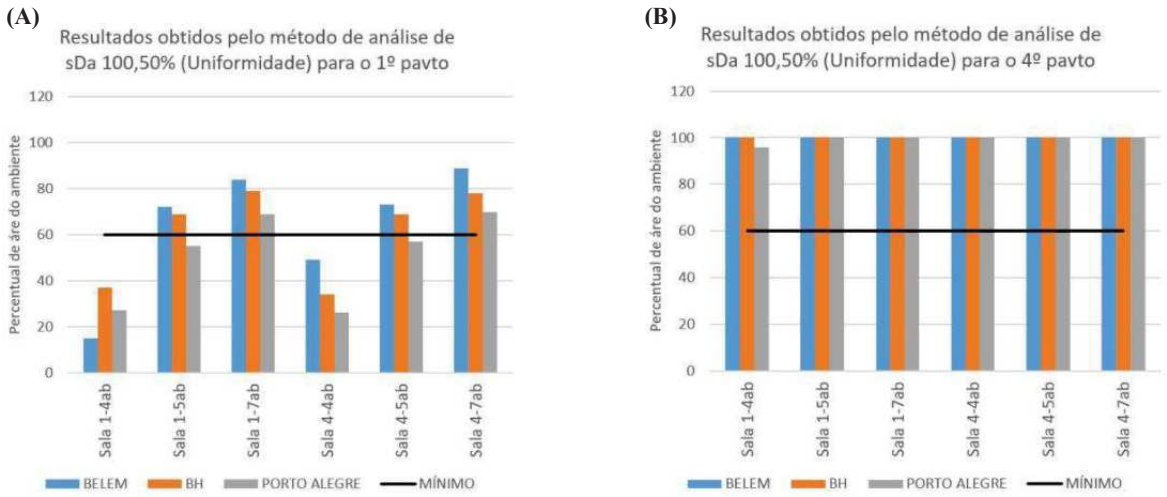


Figura 7 - Autonomia de Luz Natural quanto a uniformidade: (A) 1º pavimento, (B) 4º pavimento

Para o critério de Suficiência de iluminação natural para os ambientes do 1º pavimento, apenas a cidade de Belém alcançou desempenho mínimo quando empregado 7ab (*ambient bounces*). Já para o critério de Uniformidade da luz natural, verificou-se que com 4ab nenhuma das salas atenderam ao desempenho mínimo em nenhuma localidade, enquanto com 5ab, os ambientes localizados em Porto Alegre não conseguem atender ao desempenho mínimo, atingindo tal desempenho apenas com o emprego de 7ab.

Dessa forma, observa-se que apenas as salas da cidade de Belém atenderam ao desempenho mínimo, de ambos os critérios, com o aumento do número de rebatimentos.

4.3 Comparação entre os resultados

Os estudos realizados indicaram que as obstruções de um fosso impactam significativamente de forma negativa na disponibilidade de luz natural de ambientes do primeiro pavimento dos blocos de apartamentos, impossibilitando o atendimento de forma simultânea aos critérios supracitados para a Suficiência e a Uniformidade.

Ao se observar as informações da Tabela 7, percebe-se que, ao serem comparados os requisitos da NBR 15575 (ABNT, 2013) com a proposta de revisão apresentada pela Comissão de Estudo de Revisão da Norma de Desempenho (CBIC, 2019), todos os ambientes do 4º pavimento, em todas as cidades e para todos os métodos utilizados nas análises, atenderam ao desempeno mínimo. Contudo os resultados obtidos para os ambientes iluminados por fosso no 1º pavimento, nos levam a crer que os critérios especificados na proposta de revisão são mais restritivos para este tipo de situação.

Tabela 7- Comparação quanto ao atendimento dos requisitos mínimos de iluminação natural por método

ATENDIMENTO AOS REQUISITOS MÍNIMOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL														
Ambiente		**Localidade**	**NBR 15575:2013**		**Proposta de Revisão NBR 15575:2013**									
			Cálculos Matemáticos (NBR 15215)	**Simulação Estática (ReluxPro)**	**Simplificado (Ábacos)**			**Simulação Computacional**						
					Amb	Sufi-ciência	Unifor-midade	Suficiência			Uniformidade			
								4ab	5ab	7ab	4ab	5ab	7ab	
Pav 1	Sala 1	Belém	SIM	SIM	Coz	X	SIM	X	X	SIM	X	SIM	SIM	
					Sala	X	SIM							
		Belo Horizonte	SIM	X	Coz	X	SIM	X	X	X	X	SIM	SIM	
					Sala	X	SIM							
		Porto Alegre	SIM	X	Coz	X	X	X	X	X	X	X	SIM	
					Sala	X	SIM							
	Sala 4	Belém	SIM	SIM	Coz	X	SIM	X	X	SIM	X	SIM	SIM	
					Sala	X	SIM							
		Belo Horizonte	SIM	SIM	Coz	X	SIM	X	X	X	X	SIM	SIM	
					Sala	X	SIM							
		Porto Alegre	SIM	SIM	Coz	X	X	X	X	X	X	X	SIM	
					Sala	X	SIM							
Pav 4	Sala 1	Belém	SIM	SIM	Coz	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	
					Sala	SIM	SIM							
		Belo Horizonte	SIM	SIM	Coz	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	
					Sala	SIM	SIM							
		Porto Alegre	SIM	SIM	Coz	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	
					Sala	SIM	SIM							
	Sala 4	Belém	SIM	SIM	Coz	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	
					Sala	SIM	SIM							
		Belo Horizonte	SIM	SIM	Coz	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	
					Sala	SIM	SIM							
		Porto Alegre	SIM	SIM	Coz	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	
					Sala	SIM	SIM							

Dessa forma, ao realizar a análise pelos resultados dos cálculos matemáticos indicados na NBR 15575-1 (ABNT, 2013) foram obtidos valores de iluminância superestimados para os ambientes avaliados, em detrimento da existência do fosso, elevando o nível de desempenho. Observou-se que as simulações computacionais estáticas realizadas pelo programa ReluxPro apontaram que o ambiente sala 1, do 1º pavimento, para as cidades de Belo Horizonte e Porto Alegre, não atenderam do desempenho mínimo estipulado pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

A análise pelo método simplificado por ábacos indicou que os ambientes situados no 1º pavimento não atendem de forma simultânea ao desempenho mínimo para os critérios da Suficiência e da Uniformidade, sendo necessária a realização da simulação computacional dinâmica para obtenção de resultados mais precisos.

Os resultados das simulações dinâmicas realizadas no plug-in Diva-for-Rhino apontaram que, mesmo com o emprego do valor de 7ab (*ambient bounces*), os critérios mínimos estabelecidos para Suficiência e Uniformidade nas unidades situadas no 1º pavimento foram atendidos apenas para a cidade de Belém (PA), localizada na latitude -1,45ºS.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados, a metodologia adotada para este estudo possibilitou o atendimento ao objetivo proposto, permitindo a comparação do desempenho lumínico mínimo de salas conjugadas com cozinha e área de serviço com aberturas voltadas para o fosso, conforme critérios e requisitos estabelecidos tanto pela norma de desempenho, ABNT NBR 15575:2013, quanto pela proposta de sua revisão, apresentada pela Comissão de Estudo de Revisão, em 2019.

Diante do exposto, fica evidente que o novo critério de avaliação do desempenho lumínico das edificações habitacionais propostos pela Comissão de Estudo de Revisão da Norma de Desempenho (CBIC, 2019), por meio de simulação computacional para autonomia de luz natural, deve levar em consideração a existência de ambientes com aberturas voltadas para fosso, como situação típica de empreendimentos habitacionais brasileiros enquadrados no programa "Minha Casa, Minha Vida".

Entende-se que o método da norma atual não é capaz de analisar adequadamente a situação das interreflexões de luz em fossos e considera-se que novos métodos propostos não devem ser mais restritivos que o procedimento normativo vigente. Nesse sentido, os resultados encontrados neste trabalho permitem

indicar que se poderiam estabelecer critérios específicos para a avaliação da iluminação de ambientes com aberturas voltadas para fossos ou, de outro modo, o setor da construção civil precisará rever a concepção de suas edificações de forma sistêmica, visando o atendimento aos critérios propostos pela revisão da norma.

Recomenda-se para trabalhos futuros o estudo de recintos situados no 2º e no 3º pavimento desse modelo de edifício, assim como, a análise de outros modelos de unidades habitacionais, para fins de verificação do atendimento aos novos parâmetros definidos pela Comissão de Estudo de Revisão da Norma de Desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, I. Á. L. de; CABÚS, R. C. **Influência da Luz Natural Refletida Pelo Entorno na Iluminação de Edifícios em Cânions Urbanos no Trópico Úmido.** In: LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Ouro Preto, 2007. **Anais…** Ouro Preto, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILERIA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-2 - Iluminação natural - Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural** - Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILERIA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-3 - Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos** - Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILERIA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1 - Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais** - Rio de Janeiro, 2013.

BARBOSA, N. M. da S.; CABÚS, R. C. **A influência da fachada do entorno edificado no desempenho da iluminação natural.** Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, (27), 113-124. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n27.2020.07>. Acesso em: 28 de agosto de 2020.

BOLSSONI, Gabriela da C.; LARANJA, Andréia C.; ALVAREZ, Cristina E. de. **Disponibilidade de iluminação natural em ambiente interno orientado para poço de iluminação.** Programa de Pós-graduação em Arquitetura da UFRJ: Cadernos ProArq 31 2l018. Disponível em: **<**https://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/pt/paginas/edicao/31>. Acesso em: 02 de agosto de 2020.

CASTRO, G. N.; LEDER, S. M.; SILVA, L. B. da; SOUZA, E. L. de. **Componentes de condução da luz natural em edifícios multifamiliares: análise de um código de obras**. Ambient. Constr., Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 25-44, junho 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid= S167886212015000 200025&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02 de agosto de 2020.

CINTRA, M. S. **Arquitetura e Luz Natural**: **a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais**. Brasília, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/9909>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

CBIC. CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Reunião do GT da Comissão de Estudo de Revisão da Norma de Desempenho (ABNT/CE-002:136.001). **Apresentação da proposta de revisão dos requisitos de Desempenho Lumínico.** Fernando Oscar Ruttkay Pereira - Relator do Grupo de Trabalho de Desempenho Lumínico, 13 de novembro de 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qBhBALCYvq4>. Acesso em: 05 de agosto de 2020.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA.** 2008. 160p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: < http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257698>. Acesso em: 05 de agosto de 2020.

GUIDI, C. R.; ABRAHÃO, K. C. de F. J.; VELOSO, A. C. O.; SOUZA, R. V. G. de. **Influência dos parâmetros urbanísticos e da topografia na admissão da luz natural em edifícios residenciais.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 49-66, jul/set. 2018. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script =sci_arttext&pid=S1678-86212018000300049&lng= en&nrm=iso>. Acesso em: 05 de agosto de 2020.

LEAL, Lilianne de Queiroz; LEDER, Solange Maria. **Iluminação natural e ofuscamento: estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos**. Ambiente. Constr. Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 97-117, outubro de 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S16788621201800040009 7 &lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

MORAIS, Juliana Magna da Silva Costa; LABAKI, Lucila Chebel. **CFD como ferramenta para simular ventilação natural interna por ação dos ventos: estudos de caso em tipologias verticais do "Programa Minha Casa, Minha Vida"**. Ambient. constr., Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 223-244, Mar. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212017000100223&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 de agosto de 2020.

PEREIRA, Daniela Cardoso Laudares. **Iluminação Natural em Edifícios de Escritório: metodologia para a avaliação do desempenho luminoso**. 2017. 263f. São Paulo. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade de São Paulo, 2017. Disponível em: < https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-22062017155747/publico/DanielaCardosoLaudaresPereira_ corrigida.pdf>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

REINHART, C. F. **Tutorial on the Use of Daysim simulations for sustainable Design.** Cambridge: Harvard University Graduate School of Design, 2010.

RORIZ, M. **ZBBR**. Versão 1.1. Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE. São Carlos, 2004. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/ downloads/softwares/zbbr>. Acesso em: 28 de agosto de 2020.

SOUZA, R. V. G. **Iluminação Natural em Edificações: cálculo de iluminâncias interna: desenvolvimento de ferramenta simplificada.** Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.