

INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA NA ADMISSÃO DA LUZ NATURAL EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS: ESTUDO DE CASO EM BELO HORIZONTE

Cláudia Rocha Guidi (1); Karla Cristina de Freitas Jorge Abrahão (2); Ana Carolina Oliveira Veloso (3); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (4)

(1) Arquiteta, Mestranda, claudiarguidi@gmail.com

(2) Arquiteta, Doutoranda, kjabraha@hotmail.com

Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, UFMG

(3) Arquiteta, Doutora - Programa de Pós-Graduação da Engenharia Mecânica, acoveloso@gmail.com

(4) Arquiteta, Doutora, Professora do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, UFMG

robertavgs2@gmail.com

Escola de Arquitetura, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética - Rua Paraíba, 697, sala 124, Bairro Funcionários, CEP 30130-140 – Belo Horizonte - MG. Tel: (31) 34098825

RESUMO

A admissão de luz natural em ambientes residenciais é fundamental por estar associada à qualidade de vida além de contribuir com a redução do consumo de energia elétrica. No entanto, fatores como os parâmetros urbanísticos municipais associados às condições topográficas podem prejudicar essa admissão. O trabalho analisou a influência da topografia na disponibilidade de luz natural em dois ambientes de um edifício residencial multipavimentos tipicamente encontrado em Belo Horizonte, Minas Gerais. A análise abordou a avaliação da Autonomia de Luz Natural a partir dos requisitos do RTQ-R e da legislação urbanística municipal associada a três variáveis: declividade longitudinal de terreno, localização vertical da unidade residencial e quatro principais orientações geográficas (Norte, Sul, Leste e Oeste). O método de análise determinou um projeto de edifício modelo com seu entorno contíguo construído e utilizou a simulação computacional através do software *Daysim* versão 3.1-2012. As análises dos resultados apresentaram que, aproximadamente, 53% ambientes simulados não atenderam a autonomia de luz do RTQ-R. Verificou-se que a declividade longitudinal do terreno e a localização vertical da unidade, dentro do edifício, associados aos parâmetros urbanísticos específicos de afastamentos laterais e de fundos exercem maior influência sobre a Autonomia de Luz Natural do que a orientação geográfica. A principal contribuição do trabalho foi a verificação de que o regulamento municipal de admissão de iluminação natural necessita ser revisado incluindo a análise de variáveis como a declividade de terrenos associada aos afastamentos.

Palavras-chave: iluminação natural, simulação de luz natural, legislação urbanística.

ABSTRACT

The daylight admittance in residential interior environments is fundamental being associated with quality of life in addition to contribute to electricity consumption reduction. However, factors such as municipality urban legislation parameters associated with topographic terrain conditions often impaired the daylight admission. This work evaluated the terrain slope over the daylight admission in two interiors environments of a residential building with multiple floors typically founded in Belo Horizonte, Minas Gerais State. The analysis addressed the daylighting autonomy evaluation based on the RTQ-R, a Federal regulation, and on the municipality urban regulation in addition with three variables combination: the longitudinal terrain slope, the vertical location of the unit and the four main geographic orientations (North, South, East and West). The method of analysis determined a model of building design and its contiguous built neighborhoods to simulate daylight access using the *Daysim* version 3.1-2012 software computer. The analysis of results presents a portion of 52% of simulated interior environmental not meeting the daylight autonomy requirements. It was verified that longitudinal terrain slope and the unit verticality location associated with specifics urban parameters as lateral and back constructive constraints exert a greater influence on the daylight autonomy than the geographical orientation. The main contribution of this work was the assertion that the daylighting municipality regulation need to be reviewed prioritizing inclusion of determinants such as slope of land associated with lateral and back constructive limits.

Keywords: daylighting, daylighting simulation, urban regulation.

1. INTRODUÇÃO

A iluminação natural é definida como a luz proveniente do sol de forma direta, luz difundida pela atmosfera celeste e luz refletida pelos elementos do entorno, admitida no interior edificado (ABNT, 2005). A luz natural é considerada como uma das melhores fontes de iluminação devido as suas propriedades de reprodução de cor, contribuindo para o conforto visual humano (ALRUBAIIH *et al*, 2013). Conforme Baker *et al* (1998), a iluminação natural possui um importante papel para o melhor desempenho das funções biológicas, além de oferecer aos usuários senso de orientação, de tempo e das condições meteorológicas externas gerando melhor qualidade de vida e saúde.

Além das questões associadas ao conforto humano, é possível reduzir o consumo de energia elétrica ao inserir luz natural de forma adequada em um projeto arquitetônico, diminuindo o uso de iluminação artificial. Conforme Lamberts *et al* (2014), o consumo de energia elétrica para a iluminação artificial em uma residência brasileira equivale a 14% do total consumido. Para uma residência na região Sudeste, este percentual sobe para 19%.

Em edifícios inseridos em áreas urbanas, a admissão a luz natural depende de uma série de variáveis como: o tipo e dimensões das aberturas, os dispositivos externos de sombreamento e internos de refletividade, a orientação geográfica, a relação do sistema com seu entorno, as características do entorno, a relação do edifício com os parâmetros institucionais normativos, dentre outros (CINTRA, 2011; FROTA, 2004; MORAES E SCARAZZATO, 2003). Segundo Leder e Pereira (2008), os edifícios inseridos em cenários urbanos apresentam significativa redução de luz natural em seus ambientes internos em função da obstrução do céu devido, principalmente, aos cenários mais densos com ocupação máxima e regidos por legislação urbana. Em contraposição, Araújo e Cabús (2007) afirmam que, em certas ocasiões, a luz refletida do entorno edificado contribui para o aumento da quantidade de luz no ambiente interno.

Diante deste quadro, tornam-se necessários tanto economicamente, mas principalmente, quanto à qualidade da saúde e bem-estar humano, estudos que forneçam parâmetros para o desenvolvimento de projetos de edificações que atendam aos requisitos desejáveis de iluminação natural.

Belo Horizonte é a capital do estado de Minas Gerais, localizada na região Sudeste do Brasil, com latitude $-19^{\circ} 55' 15''$ e longitude $-43^{\circ} 56' 16''$. Seu relevo é caracterizado tipicamente por morro (PMBH, 2013). Nas últimas décadas houve crescimento da urbanização sobre a malha topográfica do município. Esse fato, no contexto do setor residencial, ocorreu especificamente através de edifícios compactos e de múltiplos pavimentos, arquétipo influenciado pelos modelos de zoneamentos municipais (PMBH, 2007, 2011). De acordo com Assis (2005) a legislação, como variável condicionante da forma urbana, está diretamente associada à mudança climática local e dessa forma, deveria assumir critérios capazes de garantir o acesso a luz natural, dentre outros. Os parâmetros urbanísticos municipais, especificamente afastamentos mínimos laterais e de fundos associados às características topográficas da malha urbana, leva a crer que a quantidade de luz natural admitida nos ambientes residenciais, especialmente em andares inferiores, vem sendo reduzida.

Para se avaliar o acesso a luz natural em ambientes internos utiliza-se, dentre outras, a avaliação da Autonomia de Luz Natural ou *Daylight Autonomy*, medida adimensional sendo definida por um percentual de horas anuais de atividade em que a iluminação de um dado ambiente é atendida apenas pela luz natural (WDBG, 2016). Acosta, Campano e Molina (2016) definem que o conforto visual em ambientes residenciais depende da máxima Autonomia de Luz Natural. Para sua análise é necessária a aplicação de modelos em *software* de avaliação dinâmica do comportamento da admissão de luz natural. Um dos programas que realizam esta avaliação é o *Daysim* (REINHART, 2006, 2012).

Um dos instrumentos técnicos nacionais para edifícios residenciais que regulamenta a Autonomia de Luz Natural é o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). O regulamento é um instrumento técnico em que apresenta o método, os requisitos e as ferramentas de análise para a avaliação do nível de eficiência energética de edificações residenciais e foi desenvolvido para a aplicação em todo o território nacional. Um dos quesitos de análise é a iluminação natural que pode contribuir em até 0,30 pontos em 6 pontos máximos do programa, o equivalente a até 5% da pontuação final do sistema como estratégia de bonificação. A avaliação do requisito de iluminação natural do RTQ-R pode ser desenvolvida por método prescritivo ou simulação computacional. Os requisitos mínimos de atendimento ao sistema de avaliação da iluminação natural do regulamento para ambientes de permanência prolongada através do método de simulação computacional incluem a criação de uma malha mínima de 25 pontos na altura da superfície de trabalho e a comprovação do atendimento da luz natural de 60 lux de iluminância em 70% da área do ambiente durante 70% das horas/ano com luz natural (BRASIL, 2012).

Guedes (2012) abordou a análise da admissão de luz natural em um estudo com 03 tipologias de edificações residenciais de padrões construtivos distintos concluindo que os parâmetros de área de aberturas equivalentes a área do piso, estabelecidos pelo Código de Edificações de Belo Horizonte, atendem facilmente aos requisitos estabelecidos pelo RTQ-R para a obtenção da pontuação máxima junto à bonificação acima descrita. Entretanto, Guedes (2012) realizou seu estudo sem considerar as obstruções externas do céu pelo entorno edificado.

A partir da vivência pessoal de uma das autoras do presente artigo, verificou-se empiricamente que as obstruções externas aliadas às declividades de terreno presentes na cidade podem afetar significativamente a disponibilidade de luz natural nos ambientes residenciais, sendo este o fator motivador do presente trabalho.

2. OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é analisar a influência da topografia na disponibilidade de luz natural a partir dos requisitos do RTQ-R em um edifício residencial considerado típico localizado em Belo Horizonte, Minas Gerais, desenvolvido de acordo com a legislação urbanística do município.

3. MÉTODO

O trabalho avaliou a Autonomia de Luz Natural do sistema de abertura vertical (janela) em dois diferentes ambientes de permanência prolongada (quarto e sala) de uma unidade residencial através de simulações computacionais utilizando-se do *software Daysim 3.1-2012* (REINHART, 2012).

3.1. Características urbanísticas do modelo da edificação analisada

O modelo do edifício e entorno construído foi elaborado para duas zonas urbanas com alto potencial construtivo e de grande representatividade no território municipal de acordo com as características regulatórias da Lei 7.166/1996 – Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Sol de Belo Horizonte (PMBH, 1996).

O método proposto determinou a construção do modelo de análise de acordo com os parâmetros urbanísticos das zonas Adensada e de Adensamento Preferencial estabelecidas pela Lei 7.166/1996 – Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo de Belo Horizonte (PMBH, 1996). Estas duas zonas possuem alto potencial construtivo na cidade, apenas inferior ao potencial construtivo das áreas da região central da cidade. Logo, os edifícios de ambas as zonas possuem um alto percentual de área construída em proporção à área do lote, conformando, desta maneira, áreas com ambiente urbano adensado.

Para a elaboração do modelo do edifício residencial utilizou-se dimensões de lote recorrente no tecido urbano de Belo Horizonte sendo um terreno com 12 metros frontais paralelos à rua e 30 metros laterais, resultando em lote retangular com área de 360 m². A partir da definição dos zoneamentos e das dimensões do lote, foi elaborado um estudo de viabilidade do potencial construtivo de acordo com os parâmetros urbanísticos definidos pela Lei 7.166/1996 (PMBH, 1996) e através de modelos de edifícios residenciais encontrados na cidade. A Zona Adensada e a Zona de Adensamento Preferencial possuem parâmetros urbanísticos semelhantes, o que resultou em modelos de edificações com características similares, sendo adotado, portanto, apenas um modelo de edificação para ambas.

O modelo do edifício foi definido com cinco pavimentos a partir do nível da rua, podendo ter níveis de subsolo destinados a estacionamento. O pavimento localizado ao nível da rua foi considerado como pilotis para utilização de estacionamento de veículos. Os quatro pavimentos superiores possuem duas unidades residenciais por pavimento, sendo uma voltada para a parte frontal do lote e outra voltada para a parte posterior do lote, além da circulação central. As unidades residenciais do segundo pavimento possuem área privativa descoberta projetada sobre os afastamentos laterais e de fundos, o que caracteriza uma laje ou terraço descoberto sobre o pavimento de estacionamento.

3.2. Características urbanísticas do entorno do modelo da edificação

Uma vez que o entorno se integra aos mesmos parâmetros urbanísticos e regulatórios que o edifício modelo, determinou-se para estes edifícios do entorno as mesmas características do modelo analisado, ou seja, mesmo terreno, mesma altimetria e mesmos afastamentos mínimos frontais, laterais e de fundos (Figuras 1 e 2).

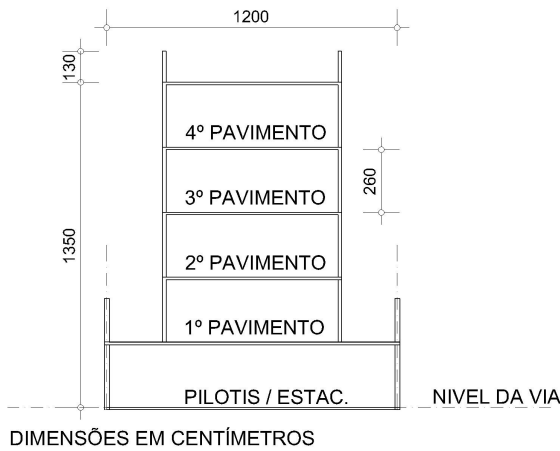


Figura 1 – Corte transversal do edifício modelo.



Figura 2 – Planta de implantação do edifício modelo analisado junto ao entorno edificado.

3.3. Características do modelo - topografia

Determinaram-se quatro diferentes tipologias topográficas de declividade longitudinal do lote, caracterizadas neste trabalho como "i", para a análise da Autonomia de Luz Natural dos ambientes inseridos no edifício modelo junto ao entorno edificado. As declividades definidas enquadram-se em declividades encontradas no tecido urbano da malha topográfica da cidade, equivalendo a 0% (terrenos planos), 10%, 20% e 30% (Figuras 3 a 6).

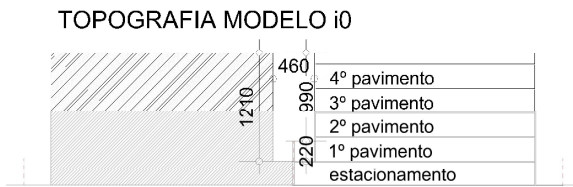


Figura 3 – Corte esquemático do modelo i0.

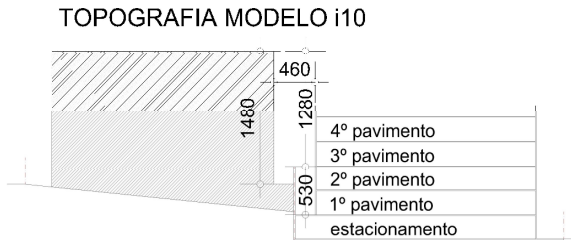


Figura 4 – Corte esquemático do modelo i10.

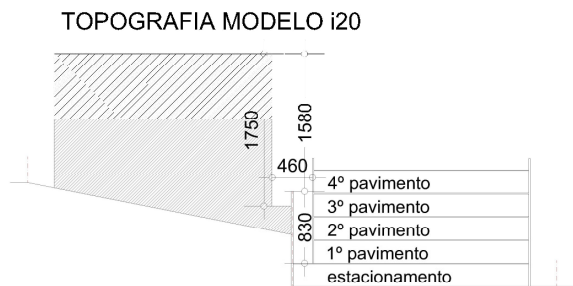


Figura 5 – Corte esquemático do modelo i20.

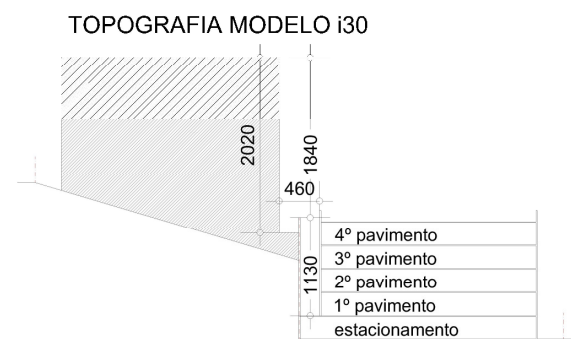


Figura 6 – Corte esquemático do modelo i30.

3.4. Definição de localização e características dos ambientes analisados

Determinou-se, como objeto de análise, a quantificação da Autonomia de Luz Natural de dois ambientes de permanência prolongada, respectivamente, quarto e sala, com janelas em fachadas diferentes, inseridos na unidade residencial localizada na parte posterior do edifício modelo. Essa determinação partiu da premissa

de que esses ambientes localizados na porção dos fundos e com entorno edificado de terrenos em declive podem apresentar maior obstrução do céu tendo redução na admissão de luz natural.

O quarto analisado apresenta janela centralizada e localizada na fachada de fundos. A sala apresenta janela centralizada e localizada na fachada lateral. As dimensões desses ambientes foram definidas em atendimento à Lei 9.725/2009 - Código de Edificações de Belo Horizonte (PMBH, 2009) que estabelece os parâmetros mínimos de área de vãos para iluminação e ventilação naturais bem como a relação entre profundidade do ambiente com a altura do seu pé-direito além das dimensões mínimas para os ambientes internos. Desta forma, determinou-se o quarto com largura de 2,70 metros e comprimento de 3,00 metros, e a sala com largura de 3,00 metros e comprimento de 4,00 metros (Figura 7). Determinou-se o pé-direito de 2,60 metros para ambos os ambientes. As dimensões de largura das janelas do quarto e da sala foram de, respectivamente, 1,20 metros e 1,70 metros, tendo altura de 1,20 metros e 1,10 metros de peitoril.

Na construção do edifício modelo foram desconsiderados quaisquer elementos de controle de admissão de luz natural nas janelas ou fachadas durante as simulações como cortinas, toldos, proteções, venezianas ou outros sistemas que pudessem, eventualmente, interferir na admissão da luz natural no ambiente.

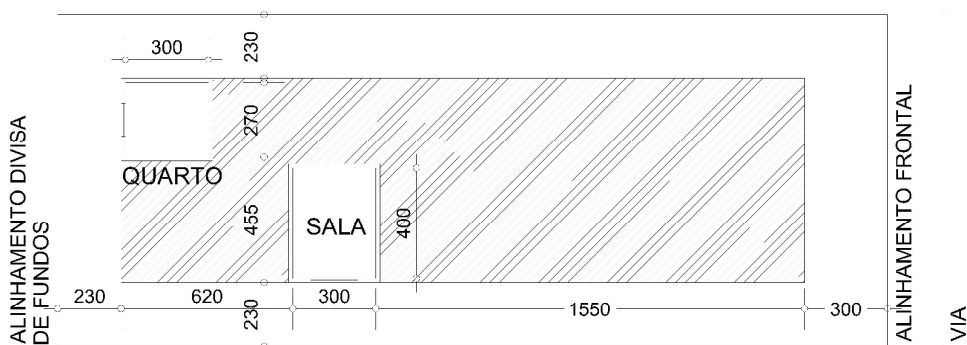


Figura 7 – Edifício Modelo - planta de implantação do edifício no lote, afastamentos laterais e de fundos e dimensão dos ambientes estudados.

3.5. Modelos analisados e nomenclatura

Aos dois ambientes analisados do edifício modelo, combinaram-se três variáveis: declividade longitudinal do terreno, localização vertical por pavimento e orientação geográfica das aberturas. No sentido de facilitar a compreensão, cada um dos dois ambientes analisados apresenta em sua nomenclatura uma abreviação do nome de cada variável, partindo do seguinte formato: declividade-pavimento-orientação. Exemplificando: Modelo i30-pv1-N é um modelo cuja declividade do terreno é de 30% e localizado no primeiro pavimento com orientação da janela Norte; Modelo i20-pv2-S é um modelo cuja declividade do terreno é de 20% e localizado no segundo pavimento com orientação da janela Sul; Modelo i10-pv3-L é um modelo cuja declividade do terreno é de 10% e localizado no terceiro pavimento com orientação da janela Leste

A Tabela 1 apresenta, de forma resumida, as três variáveis referentes a declividade, localização vertical e orientação geográfica, definida e combinadas para cada um dos dois ambientes resultando, portanto, em 64 modelos analisados por ambiente.

Tabela 1 – Declividade, orientação geográfica e localização do pavimento dos modelos construtivos analisados.

	Modelos i0	Modelos i10	Modelos i20	Modelos 30
Declividade (i) (%)	0	10	20	30
Orientação geográfica	Norte, Sul, Leste, Oeste	Norte, Sul, Leste, Oeste	Norte, Sul, Leste, Oeste	Norte, Sul, Leste, Oeste
Localização vertical/pavimento (pv)	pv1, pv2, pv3 e pv4	pv1, pv2, pv3 e pv4	pv1, pv2, pv3 e pv4	pv1, pv2, pv3 e pv4

3.6. Modelagem, software de simulação e dados de entrada

A partir da definição do edifício modelo bem como seu entorno e das características físicas dos ambientes analisados e suas janelas foram elaborados os modelos tridimensionais no programa *SketchUp* v. 8.0. Para a

simulação computacional foi utilizado o programa *Daysim 3.1-2012* (REINHART, 2012) que possibilita a verificação da iluminação natural de forma dinâmica para o período de um ano. Para o processamento das simulações foi utilizado o arquivo climático de 8.760 horas da cidade de Belo Horizonte – Pampulha (RORIZ, 2016). A altura da malha de pontos nos ambientes para a quantificação da Autonomia de Luz Natural foi determinada a 75cm do piso. O ambiente do quarto apresentou uma malha com 90 pontos enquanto o ambiente de sala apresentou 130 pontos. Nessa avaliação foram consideradas variáveis internas pertencentes ao ambiente e externas pertencentes ao entorno, variáveis relacionadas à localização geográfica do edifício analisado e variáveis relacionadas à atividade do ambiente. As variáveis internas incluem as dimensões físicas do ambiente analisado, a refletividade de superfícies internas e as características do sistema de iluminação natural (dimensões da janela, refletividade do vidro, esquadria). As variáveis externas incluem a refletividade de superfícies e a composição volumétrica do entorno. As variáveis relacionadas à atividade do ambiente referem-se aos horários de atividades desenvolvidas no interior do ambiente utilizando exclusivamente a iluminação natural.

De acordo com Leder *et al* (2007) e Capeluto (2003) adotou-se o índice de refletância do entorno edificado de 40%. Os índices de refletância nos ambientes internos, de acordo com Capeluto (2003), foram de 20% para piso, 80% para teto e 65% para paredes. O horário de avaliação para a Autonomia de Luz Natural correspondeu ao intervalo de 6:00h às 18:00h de forma ininterrupta e equivalente à duração média do dia para a cidade de Belo Horizonte.

3.7. Requisitos de análise conforme RTQ-R

Através do programa *Daysim 3.1-2012* (REINHART, 2012) foram gerados gráficos de avaliação da Autonomia de Luz Natural de acordo com a malha determinada para os dois ambientes. O programa possui uma saída em dados numéricos que permite identificar quais pontos da malha atendem os requisitos do RTQ-R, ou seja, quais pontos possuem valores iguais ou superiores a 70% das horas simuladas. Para a avaliação do requisito do RTQ-R considerou-se, de forma simplificada, que cada ponto da malha equivaleria a uma porcentagem proporcional à área do ambiente. Para cumprir o atendimento ao regulamento técnico o ambiente do quarto deveria possuir, no mínimo, 63 pontos, dos 90 pontos totais, com valores de autonomia de luz iguais ou superiores a 70% e o mesmo critério para 91 pontos da sala, dos 130 pontos totais deste ambiente.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram compilados em gráficos apresentados nas Figuras 8 a 11 e separados por pavimentos para facilitar a análise. Através dos resultados foi possível verificar os percentuais de área dos ambientes de quarto e sala que atendem à exigência de 60 lux em 70% do tempo de uso com iluminação natural. Todas as variáveis analisadas (localização do ambiente verticalmente, orientação da abertura e declividade do terreno) apresentaram influência para a disponibilidade de luz natural no ambiente interno.

Dentre os 64 modelos de quartos analisados, apenas 31 modelos, ou seja 48%, atenderam a autonomia de luz do RTQ-R. Para os 64 modelos de salas analisadas foram 30 os modelos que atenderam ao requisito, equivalendo a 47% das análises deste ambiente. Os maiores valores de autonomia de luz ocorreram nos ambientes localizados no quarto pavimento dos modelos de declividade i0, i10 e i20 e no terceiro pavimento dos modelos com baixa declividade (i0 e i10).

Em relação à localização vertical, é relevante observar que à medida que os ambientes analisados passam a localizar em pavimentos mais elevados, a autonomia de luz amplia devido a redução da obstrução do céu favorecendo a admissão de luz natural. No primeiro e no segundo pavimentos, apenas 12,5% dos ambientes atenderam ao requisito de Autonomia de Luz Natural. Para o terceiro e quarto pavimentos o atendimento foi de, respectivamente, 75% e 94%. No quarto pavimento quase todas as situações de ambientes com integração entre as variáveis topografia e orientação atenderam ao critério de 60 lux em 70% do tempo de uso com iluminação natural, exceto em duas situações em um total de 36 referente ao ambiente de quarto com declividade i30 nas orientações Norte e Oeste.

Em relação à topografia os resultados apresentaram um padrão de redução da Autonomia de Luz Natural em função da declividade do terreno. Quanto maior a declividade do terreno, menor a admissão de luz natural no ambiente interno com entorno edificado. Para o modelo topográfico i0, correspondente aos terrenos planos, 75% dos ambientes atenderam ao requisito enquanto o modelo i10 atendeu em 50%. Os modelos i20 e i30 apresentaram respectivamente uma taxa de atendimento de, respectivamente, 41% e 28%.

Os resultados nas variáveis i10, i20 e i30 da topografia do terreno associados à localização vertical dos ambientes do primeiro e segundo pavimentos, geraram resultados de não atendimento em 100% dos

ambientes, independente da orientação geográfica. Nestes pavimentos, somente nos quartos dos edifícios localizados em terrenos planos (i0) houve atendimento ao critério. O fato das salas não atenderem ao critério nesta situação ocorre por apresentarem maior obstrução horizontal (fachada lateral do edifício vizinho obstruidor) e vertical, ocasionada principalmente pelos parâmetros de afastamentos laterais mínimos. Os pavimentos superiores apresentaram valores maiores por terem menor obstrução vertical apesar de mantida a obstrução horizontal.

Os resultados mostraram que os quartos com orientação Sul, nos modelos com declividade i10, i20 e i30, apresentaram maior Autonomia de Luz Natural em comparação com as demais orientações, provavelmente devido à admissão de luz natural potencializada pela contribuição da parcela de luz refletida pelo entorno, sendo, neste caso, a parcela refletida da fachada Norte do edifício posicionado em frente a estas janelas.

Dentre os 64 modelos de quartos analisados, apenas 31 modelos, ou seja 48%, atenderam a autonomia de luz do RTQ-R. Já para os 64 modelos de salas analisadas foram 30 os modelos que atenderam a métrica, equivalendo à 47% das análises deste ambiente. Os maiores valores de autonomia de luz ocorreram nos ambientes localizados no quarto pavimento dos modelos de declividade i0, i10 e i20 e no terceiro pavimento dos modelos com baixa declividade (i0 e i10).

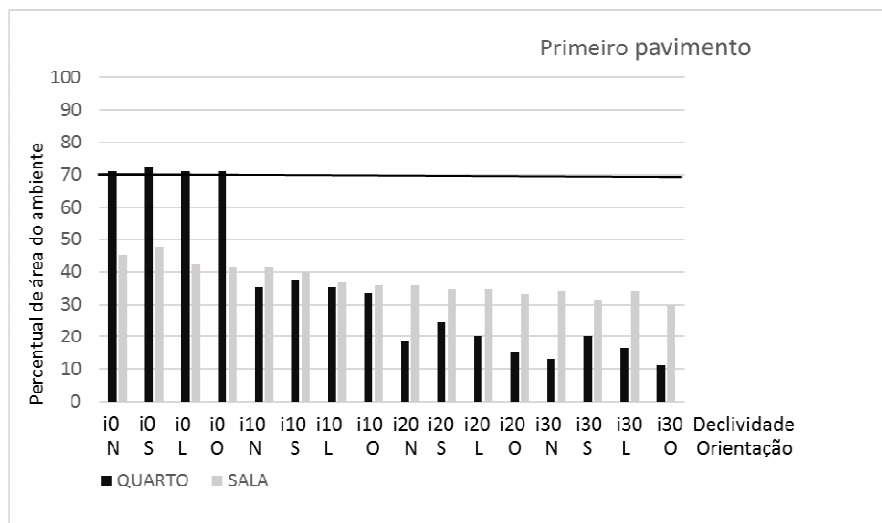


Figura 8 – Resultados do percentual de área dos ambientes de quarto e sala que atende ao requisito do RTQ-R por declividade e por orientação geográfica para o primeiro pavimento.

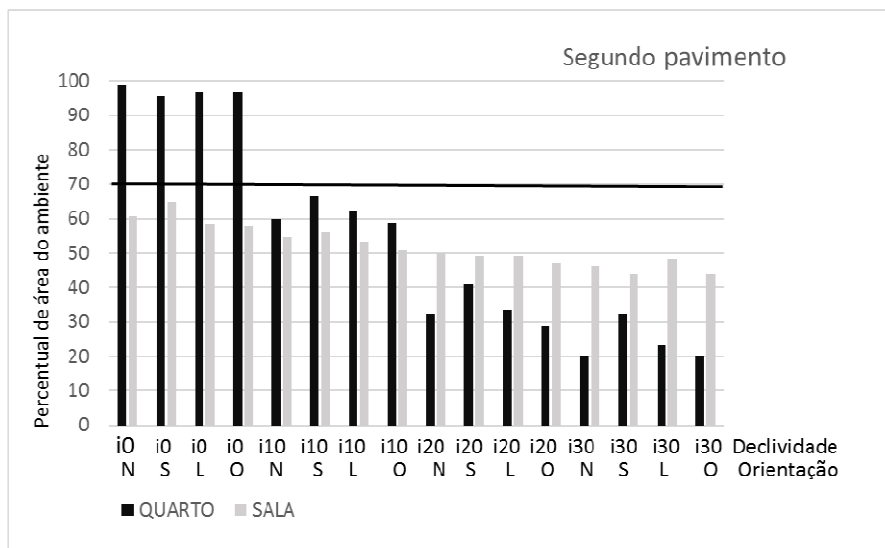


Figura 9 – Resultados do percentual de área dos ambientes de quarto e sala que atende ao requisito do RTQ-R por declividade e por orientação geográfica para o segundo pavimento.

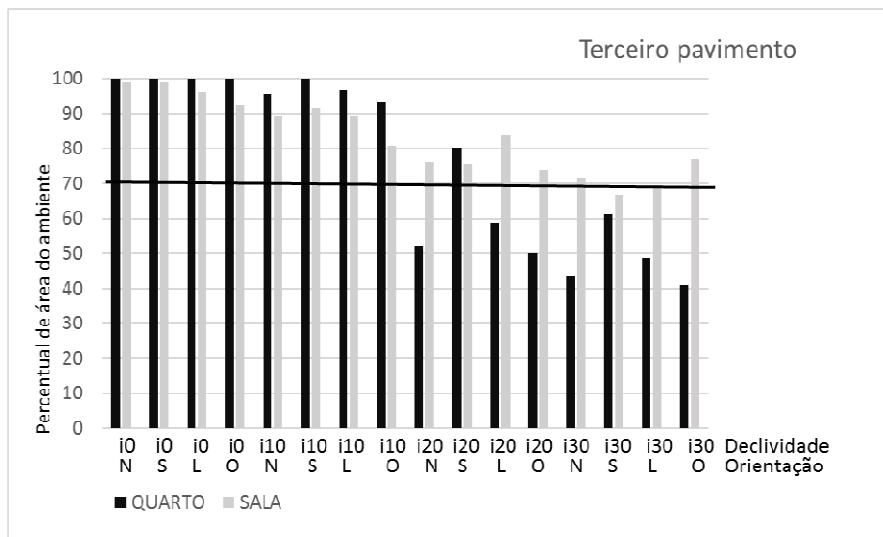


Figura 10 – Resultados do percentual de área dos ambientes de quarto e sala que atende ao requisito do RTQ-R por declividade e por orientação geográfica para o terceiro pavimento.

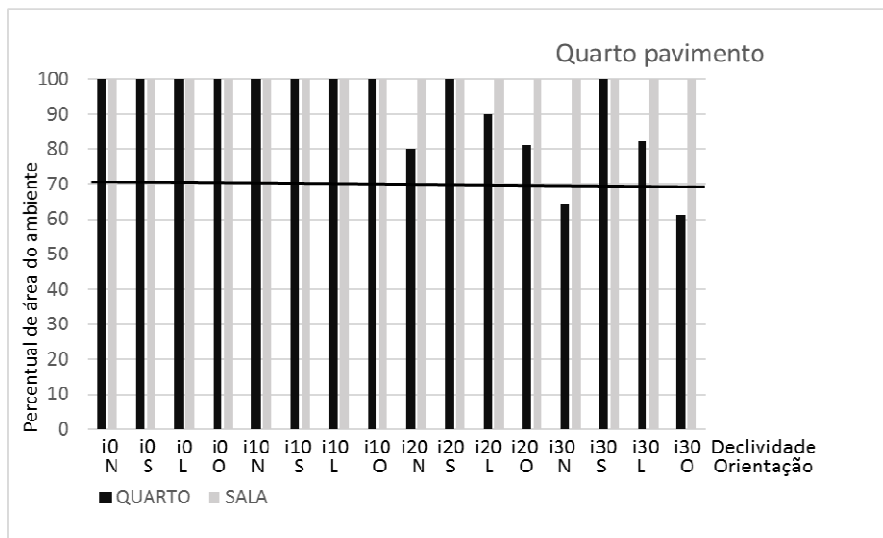


Figura 11 – Resultados do percentual de área dos ambientes de quarto e sala que atende ao requisito do RTQ-R por declividade e por orientação geográfica para o quarto pavimento.

5. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou os parâmetros regulatórios de avaliação de iluminação natural de unidade residenciais no contexto brasileiro e especificamente no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. O estudo apresentou que, para um edifício modelo com entorno edificado denso criado a partir das características urbanísticas e regulatórias para esta cidade, aproximadamente 53% dos ambientes simulados não apresentaram Autonomia de Luz para atender aos critérios de bonificação junto ao RTQ-R: luminância mínima de 60 lux em 70% da área do ambiente em 70% do tempo de uso com iluminação natural.

Através dos resultados deste trabalho observou-se que a declividade longitudinal do terreno é inversamente proporcional à admissão de luz natural nos ambientes, e contrariamente, a localização vertical do ambiente no edifício é diretamente proporcional. Observou-se ainda que a obstrução da abertura pode contribuir para o acesso a luz natural no ambiente interno, quando essa está sendo diretamente iluminada, como no caso da fachada Sul que recebe luz refletida da fachada obstruidora Norte. Nas condições analisadas verifica-se que os parâmetros de declividade de terrenos e de cota altimétrica dos ambientes, caso institucionalizados, poderiam contribuir como critérios adicionais para a avaliação de admissão de luz natural pela legislação urbana municipal.

A metodologia desenvolvida nesse trabalho é uma operacionalização de prova conceitual, podendo ser aplicada em outros municípios. Nesse sentido, admite-se que os instrumentos institucionais regulatórios da admissão de iluminação natural do município de Belo Horizonte deveriam ser revisados incluindo a análise da declividade de terrenos associada aos afastamentos. Acredita-se que uma proposição de ampliação de afastamentos poderia atender melhores níveis de autonomia de luz, porém teria impacto na área construída por pavimento e consequentemente estimularia a verticalização das edificações nos zoneamentos analisados. Tais medidas deverão ser objeto de análises futuras, havendo ainda a recomendação de contraposição dos resultados obtidos com as recomendações da norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-1:** Iluminação Natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 5 p.
- _____. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 60 p.
- ACOSTA, I.; CAMPANO, M. A.; MOLINA, J. F. A. Window design in architecture: Analysis of energy savings for lighting and visual comfort in residential spaces. **Applied Energy**, vol. 168, p. 493-506, 2016.
- ALRUBAIH, M. S.; ZAIN, M. F. M.; ALGHOUL, M. A.; IBRAHIM, N. L. N.; SHAMERI, M. A.; ELAYEB, O. Research and development on aspects of daylight fundamentals. **Renewable and sustainable energy reviews** 21, p. 494-505, 2013.
- ARAÚJO, Iuri Ávila L. de; CABÚS, Ricardo C. Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios em câniões urbanos no trópico úmido. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto, Brasil, 2007, **Anais...Ouro Preto**.
- ASSIS, E. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Maceió, Brasil, 2005, **Anais... Maceió**.
- BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture: a European reference book**. Bruxelas: James & James Editors, 1998.
- BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 18, 16 de janeiro de 2012.** Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>>. Acesso em: ago. 2016.
- CAPELUTO, Issac Guedi. The impact of urban layout and external obstructions on the potencial use of daylighting. In: The 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Santiago, Chile, 2003, **Anais...Chile**.
- CINTRA, M. S. **Arquitetura e luz natural:** a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais. 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- FROTA, A B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004. 289 p.
- GUEDES, A. F. **Análise da iluminação natural a partir do “Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Residenciais”:** simulação em edifícios multifamiliares de Belo Horizonte. 2012. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras; Procel; Procel Edifica, 2014. 366p.
- LEDER, M. S.; PEREIRA, F. O. R.; MORAES, L. N. Determinação experimental de coeficiente de reflexão médio para superfícies verticais em um meio urbano. In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Ouro Preto, 2007, **Anais... Ouro Preto, ENCAC-ELAC 2007**, p. 1057-1065.
- LEDER, M. S.; PEREIRA, F. O. R. Ocupação urbana e disponibilidade de luz natural. **Revista Minerva: Pesquisa e Tecnologia**, vol. 5, n. 2, p. 129-138, 2008.
- MORAES, Odair de; SCARAZZATO, Paulo Sergio. Iluminação natural no meio urbano: estudo de caso com o método dos indicadores de altura admissíveis aplicado a Campinas, SP. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Curitiba, Brasil, 2003, **Anais...Curitiba**.
- PMBH – PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **Lei nº 7.166, 27 de agosto de 1996. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município.** Diário Oficial do Município. Belo Horizonte, 1996. Disponível em: <http://cmbhsilinternet.cmbh.mg.gov.br:8080/silinternet/consultaNormas/detalheNorma.do?id=2c907f761753b10d01177939b4730059&metodo=detalhar#>. Acesso em: out. 2016.
- _____. **Lei nº 9.725, de 15 de julho de 2009. Institui o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte e dá outras providências, Anexo III.** Diário Oficial do Município. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-belo-horizonte-mg>. Acesso em: out. 2016.
- _____. Mapa de adensamento construtivo de Belo Horizonte – ano 2006. In: **III Conferência Municipal de Política Urbana: Estudo Urbanos - Transformações recentes na estrutura urbana. Núcleo de Planejamento Urbano da Secretaria Municipal de Políticas Urbanas da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte.** Belo Horizonte, 2007. Disponível em: http://www.pbh.gov.br/comunicacao/RELATORIOS/200905_estudos_urbanos_conferencia_abertura_conferencia.pdf. Acesso em: out. 2016.
- _____. **Mapa da tipologia de uso e ocupação em Belo Horizonte - 2011.** Secretaria Municipal de Desenvolvimento da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2011. Disponível em: http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=planejamentourbano&lang=pt_br&pg=8843&tax=35739. Acesso em: mai 2017.
- _____. **Mapa de declividade de Belo Horizonte.** Secretaria Municipal de Desenvolvimento da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Belo Horizonte, fev. 2013. Disponível em: http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/files.do?evento=download&urlArqPlc=decliv_perc_a3.pdf. Acesso em: set. 2016.

- REINHART, C. F. **Advanced Daylight Simulation Software- DAYSIM** Versão 3.1, 2012. Disponível em: <http://daysim.ning.com/>
Acesso em: out. 2016
- REINHART, C. F. **Tutorial on the use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, Ottawa, Canada, ago. 2006.
- RORIZ, M. **Arquivos Climáticos**. Disponível em <www.roriz.eng.br/epw_9.html>. Acesso em: set. 2016.
- WDBG – Whole Building Design Guide. **Daylighting**. National Institute of Building Sciences. Washington, DC, EUA. 2016. Disponível em: www.wbdg.org. Acesso em: set. 2016.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e/ou à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de mestrado e a esta última pelo apoio à participação no evento.