

Interferências da largura das vias na disponibilidade de iluminação natural do ambiente interno

Andrea Coelho Laranja



Arquiteta, Mestre, Doutoranda do PROARQ / FAU-UFRJ. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ. Rio de Janeiro [RJ], Brasil. <acl.vix@zaz.com.br>.

Luiz Manoel Cavalcanti Gazzaneo



Arquiteto, Urbanista, Professor Doutor do PROARQ / FAU-UFRJ / Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ. Rio de Janeiro [RJ], Brasil. <imgazzaneo@uol.com.br>.

Ricardo Carvalho Cabús



Engenheiro Civil, Professor Doutor da Universidade Federal de Alagoas / CTEC / GRILU. Maceió [AL], Brasil. <r.cabus@pq.cnpq.br>.

Artigo decorrente de pesquisa, Tese de Doutorado.

Resumo

Este estudo contempla a iluminação natural no ambiente interno. O objetivo é analisar a influência da largura das vias, na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, como forma de melhor aproveitamento deste recurso natural e menor consumo de energia elétrica com iluminação artificial. A análise foi realizada por meio da comparação dos valores médios anuais de iluminância interna no plano de trabalho gerados através de simulação na ferramenta computacional TropLux, com os intervalos de valores das UDI (*Useful Daylight Illuminances*). A simulação foi feita em um ambiente de geometria retangular inserido em um cenário urbano na cidade de Vitória de latitude 20° 19' S, utilizando três tipos de céus padrões da CIE. A partir da análise dos resultados, constatou-se que diferentes intervalos de larguras de vias interferem de forma diferenciada na variação da iluminância no ambiente interno. Constatou-se que o aumento da largura, no intervalo entre 12 m para 18m acarreta maiores alterações na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, respectivamente 22%, 25% e 28% para o céu 3, 7 e 12. No intervalo de largura de via entre 20 m e 26 m, a variação é respectivamente de 9%, 8% e 7% para o céu 3, 7 e 12. Constatou-se também que o aumento na largura de via de 12 m para 26 m ocasionou aumento nos percentuais de horas sem necessidade de iluminação artificial, respectivamente 10% de aumento no céu 7, e 5% de aumento no céu 12.

Palavras-chave

Iluminação natural, largura de via, eficiência energética.

Interferences from route width at the daylight indoors availability

Abstract

The current research examines the daylight indoors. The goal is to analyze the influence of routes width, on the availability of indoor daylight as a strategy for reducing energy consumption and improve the use of daylight. The analysis was developed comparing the average global illumination, output by the simulation software (TropLux), having as a parameter the UDI values. The simulation was done in an environment of rectangular geometry inserted into the urban setting of Vitoria latitude 20 ° 19 'S, using three different standards of CIE sky. The results show that the differences on the variation of width on the routes interfere on the availability of daylight indoor. It was noted that the increase on the width, in the ranges between 12 m to 18m occurs more alterations on the availability of daylight indoor, respectively 22%, 25% and 28% to the sky 3, 7 and 12. In the range of route width between 20 m and 26 m, the range is respectively of 9%, 8% and 7% to the sky 3, 7 and 12. It was also noted that the increase in the width of the route from 12 m to 26 m caused increase in the percentage of hours

without necessity of artificial illumination, respectively 10% of increase in the sky 7, and 5% of increase in the sky12.

Keywords

Daylight, route width, energetic efficiency.

Introdução

São muitas as razões para se utilizar a iluminação natural no ambiente interno. Robbins (1986) e Dubois (2006) mencionam que, dentre os motivos, a iluminação natural traz benefícios em função dos menores consumos de energia. De acordo com Oakley et al. (2000), uma maior utilização da luz natural nas edificações pode propiciar de 20% a 30% na economia de eletricidade, comparado ao total da construção.

A literatura, porém, tem confirmado que as características da geometria urbana que definem o entorno são elementos de grande influência na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. Segundo o THERMIE ENERGY RESEARCH GROUP (1994), a quantidade de iluminação natural em um ambiente interno é dependente das características do seu entorno. Nikiforiadis e Pitts (2003) contestam a avaliação de trabalhos que analisam a iluminação natural e que não levam em consideração o entorno.

Dentre os parâmetros do entorno influenciadores da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, pode ser citada a largura das vias. Algumas pesquisas mostram também as relações entre a altura das edificações obstruidoras e a largura da via com o acesso a iluminação natural para o ambiente interno, onde se destacam os estudos de NG (2005), Kruger e Suga (2007), Araújo e Cabús (2007). Araújo e Cabús (2007) completam que o uso desta relação facilita a aplicação em outras dimensões de cânions urbanos. Também Oliveira e Romero (2006) evidenciam que na conformação da malha urbana é preciso observar a relação entre a altura da edificação e a largura da via. Para o autor esta relação poderá acarretar situações com grandes fachadas expostas a grande radiação solar direta.

Desta forma, considerando o referencial comentado anteriormente e com base na hipótese de que a disponibilidade da iluminação natural no ambiente interno, observadas as características do clima, depende, dentre outros, das características do entorno construído, o objetivo deste trabalho é analisar a influência da largura das vias na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno.

Método de Trabalho

Este trabalho analisa a influência da largura das vias na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, onde os resultados das simulações são obtidos por meio de simulação computacional no programa TropLux. Esta análise é realizada em duas fases.

A primeira fase caracteriza-se pelo Diagnóstico do Cenário Real, em que são feitas simulações no TropLux para os 15 tipos de céus definidos pela CIE. Por meio das simulações obtém-se uma média anual dos valores de iluminância interna do ambiente interno para todos os 15 céus, nos quais são identificados três tipos de céus. Estes três céus correspondem ao valor mínimo, ao valor intermediário e ao valor máximo dos valores de iluminância interna encontrados nas simulações, obedecendo respectivamente a um céu encoberto (céu 1 a 5), um céu parcialmente nublado (6 a 10) e um céu claro (11 a 15). Os três céus são então empregados nas simulações da segunda fase do trabalho.

A segunda fase do trabalho caracteriza-se pela Avaliação Paramétrica onde são feitas também simulações com o programa TropLux, variando-se a largura das vias. Os resultados dessas simulações são analisados utilizando como referência os intervalos de valores das UDI (*Useful Daylight Illuminances*) (NABIL e MARDALJEVIC, 2006).

Programa de simulação TropLux

O TropLux permite a simulação das características da iluminação natural em ambiente interno, sendo possível configurar o céu da localidade em que se insere o ambiente por meio da proposta da CIE (CABÚS, 2006). O TropLux se baseia em três conceitos: o método Monte Carlo, o Método do Raio Traçado e o conceito de coeficientes de luz natural (CABÚS, 2005). Cabús (2005, p. 241) explica que o Método Monte Carlo é baseado na premissa de que “[...] se a probabilidade de ocorrência de cada evento separado é conhecida, então é possível determinar a probabilidade com que a seqüência completa de eventos irá ocorrer”. No que diz respeito ao Método do Raio Traçado, Cabús (2005) esclarece que ele possibilita trabalhar com geometrias complexas, o qual consiste na técnica em que os raios de luz (retas) incidirão sobre as superfícies (interceptando os planos) e, por sua vez, serão refletidos em direções que podem ser calculadas. Quanto ao coeficiente de luz natural, de acordo com Cabús (2005), os coeficientes de luz propostos por Tregenza e Waters (1983) fazem a relação da iluminância de uma dada superfície em função de uma determinada subdivisão do céu. Também utilizam a iluminância normal num plano desobstruído em função dessa mesma subdivisão. No caso do TropLux, são

utilizados dois tipos de subdivisão: a proposta pela CIE para o cálculo da componente refletida, que divide o céu em 145 partes, e, para o cálculo da componente direta, uma subdivisão com 5.221 partes, que traz melhorias na precisão dos resultados em função do tamanho angular do sol (CABÚS, 2005).

Avaliação da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno

Neste trabalho, a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno é caracterizada pelas intensidades de iluminância no ambiente interno, proporcionando assim a realização das atividades dentro dos compartimentos. Adotaram-se as UDI, propostas por Nabil e Mardaljevic (2006) como forma de avaliação da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, em que valores menores que 100 lx são considerados insuficientes, valores no intervalo entre 100 e 500 lx caracterizam-se como suficientes, mas com necessidade de iluminação complementar, valores no intervalo suficiente estão entre 500 e 2000 lx, e valores caracterizados como excessivos são maiores que 2000 lx.

Dias e horários das simulações

As simulações na primeira e segunda fase do trabalho serão feitas para todos os dias do ano e em 13 horários do dia, nos períodos da manhã e da tarde, a cada hora entre 6h e 18h. Desta forma será possível avaliar a variação do comportamento da luz natural ao longo dos dias do ano.

Características do ambiente interno adotado

As simulações serão realizadas para um modelo do ambiente interno, podendo ser quarto ou sala, caracterizado por ambiente de uso prolongado em edificação residencial multipavimento. A adoção de algumas características do modelo foi organizada em função das características encontradas nos códigos de obras de Vitória. Foi adotado um pé-direito de 2,60 m, largura de 2,60 m e comprimento de 3,85 m. As refletâncias internas adotadas foram para piso 0,2, para as paredes 0,5 e para o teto 0,85. O modelo analisado possui abertura na fachada, centralizada na parede, voltada para noroeste. Esta abertura é composta de vidro liso transparente, com área de abertura de 1,25 m², largura de 1,14 m e altura de 1,10 m, correspondente a uma proporção de 1/8 da área do piso do compartimento, em função do Código de Obras de Vitória (VITÓRIA, 1998).

Pontos de medição no ambiente interno

Observando-se a tipologia padrão das edificações residenciais multipavimentos em um cenário urbano na cidade de Vitória, utilizou-se como padrão o estudo do primeiro pavimento tipo, que habitualmente localiza-se no quarto andar. Foram então adotados 25 pontos de medição no ambiente interno a uma altura de 75 cm do piso do quarto andar. Por fim, utilizou-se a média dos valores de iluminância encontrados nestes pontos de medição, a partir da qual são realizadas as análises da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno.

Características das edificações obstruidoras

Adotaram-se as alturas de 29 m e 37,6 m das edificações obstruidoras em função das características das edificações do cenário urbano estudado.

No que se refere à largura da via, foram adotados como objeto das simulações, características de vias em função das tipologias físicas estruturais da rede viária básica do cenário urbano estudado. Desta forma, tomando-se a tipologia de via "Local Principal", referente ao PDU de Vitória, adotou-se o valor de 18 m (rua + passeio) para a simulação (VITÓRIA, 2006). Da mesma forma, o valor de maior largura de via é de 26 m (rua + passeio). Também é adotado o valor de 12 m (rua + passeio), em função de ser este um valor de via já existente no recorte urbano. Desta forma, no que diz respeito às vias são adotadas: - largura de vias com 20 m e 12 m (presentes no cenário urbano estudado);- largura de vias de 18 m e 26 m (presente na regulamentação urbana). A via simulada tem orientação nordeste/sudoeste em função do cenário urbano estudado (Figura 1)

Na característica de reflexão das superfícies é preciso atribuir a estas superfícies um valor que represente a realidade das suas características de reflexão. Em função disso, utilizando como referência o trabalho desenvolvido por Nikiforiadis e Pitts (2003) e Araújo e Cabús (2007), foram adotados valores médios que caracterizam de forma satisfatória, o mais próximo da realidade, a capacidade de reflexão das superfícies externas verticais e horizontais (vias). Desta forma para a realização das características de reflexão dos fechamentos verticais opacos do cenário urbano, foram utilizados como referência o trabalho desenvolvido por Ng (2005) o qual encontra como refletância média dos fechamentos opacos o valor de 40%, e do trabalho desenvolvido por Leder et al (2007) que encontra como coeficiente de reflexão médio o valor de 43%. Desta forma como refletância média das superfícies verticais adotou-se a refletância de 40% e nas superfícies horizontais a refletância de 20%.

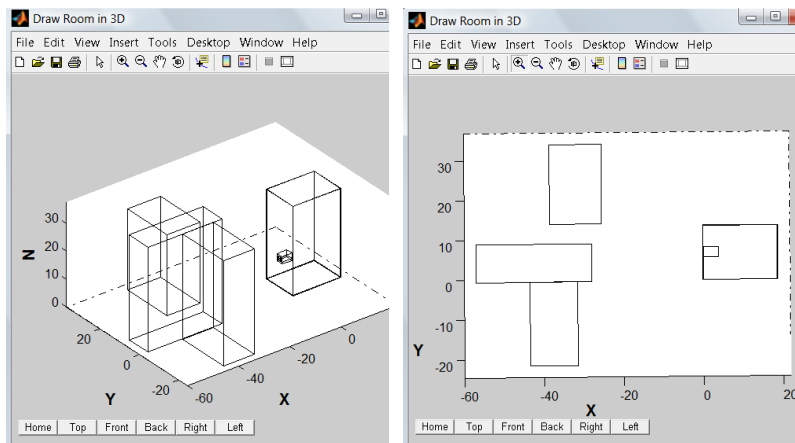


Figura 1. Imagens em 3D e vista superior das edificações obstruidoras e ambiente interno analisado, geradas pelo TropLux. Imagem do autor.

Análises de resultados

Procurou-se analisar a interferência da largura das vias na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. Os resultados das simulações permitiram no ambiente interno: a) a análise dos valores médios anuais de iluminância interna no plano de trabalho; b) a análise dos percentuais de horas do dia enquadrados nos intervalos das UDI; c) a análise dos percentuais de iluminância provenientes do céu e do sol.

Na análise dos valores médios anuais de iluminância interna, pretendeu-se avaliar a contribuições da largura das vias para alteração dos valores de iluminância.

Na análise dos percentuais de horas do dia enquadrados nos intervalos das UDI pretendeu-se analisar: a) os percentuais de horas do dia que permanecem dentro da faixa suficiente das UDI, bem como estas variações percentuais; b) como se comportam as variações do percentual de horas do dia que permanecem dentro da faixa suficiente das UDI, mas que necessitam de iluminação complementar; c) os percentuais de horas do dia caracterizados como iluminação excessiva; d) os percentuais de horas do dia caracterizados como iluminação insuficiente.

Na análise dos percentuais de iluminância provenientes do céu e do sol, pretendeu-se avaliar esses percentuais de contribuição e suas variações.

Análises dos resultados da primeira fase: diagnóstico do cenário real

A partir das simulações na primeira fase do trabalho, obtiveram-se os céus 3, 7 e 12 como os que apresentam os valores mínimo, intermediário e máximo da média anual dos valores de iluminância interna, sendo, portanto estes três céus os escolhidos para a simulação na segunda fase do trabalho.

Análises dos resultados da segunda fase: avaliação paramétrica

a) Média anual de iluminância interna

A Tabela 1 apresenta os valores da média anual de Iluminância interna em função do tipo de céu e da largura da via. A Tabela 2 expõem os valores percentuais de variação da iluminância. Os resultados mostram que a variação da largura de via contribuiu para alterações nos valores de iluminância nos três tipos de céus. Observa-se também que vias mais largas contribuem com aumentos nos percentuais de iluminância no ambiente interno e vias mais estreitas acarretam reduções nesses percentuais.

Tabela 1. Valor da média anual de iluminância interna em função do tipo de céu e da largura da via.

Iluminância interna (lx)				
Céu – Largura (m)	12	18	20	26
3 (encoberto)	149	182	188	206
7 (parcialmente nublado)	559	696	724	780
12 (claro)	963	1236	1293	1387

Tabela 2. Porcentagem de variação da média anual de iluminância interna em função do tipo de céu e da largura da via, tomando-se como referência sempre o valor anterior.

Iluminância interna (%)				
Céu – Largura (m)	12	18	20	26
3 (encoberto)	-	22%	3%	9%
7 (parcialmente nublado)	-	25%	4%	8%
12 (claro)	-	28%	5%	7%

Na Tabela 3 a comparação é feita entre a via mais estreita (12m) e a via mais larga (26m). Observando os valores percentuais, nota-se que o maior percentual de aumento da iluminância ocorre no céu 12, e a menor contribuição no céu 3. Desta forma pode-se concluir que para o céu 12, o parâmetro “largura de via” contribui mais expressivamente nas variações de iluminância do ambiente interno. Pode-se concluir que localidades que possuem como característica o céu 12 ao tirar partido de maiores larguras de vias, alcançarão valores maiores de iluminâncias no ambiente interno, enquanto que este mesmo parâmetro, no caso de localidades com tipo de céu 3 e 7, terão acréscimos menores nos valores de iluminância do ambiente interno.

Tabela 3. Percentagens da variação da média anual de iluminância interna em função do tipo de céu, entre as larguras da via, 12 e 26m

Iluminância interna (%)		
Céu – Largura (m)	12	26
3 (encoberto)	-	38%
7 (parcialmente nublado)	-	40%
12 (claro)	-	44%

As Tabelas 4 e 5 apresentam os resultados das comparações feitas entre a via de 12m e 18m (intervalo de via mais estreito) e após a via de 18m e 26m (intervalo de via mais larga). Observa-se que nos dois casos houve um acréscimo de 50% na largura da via. Nota-se porém que em nenhum dos intervalos os percentuais de variação de iluminância acompanharam proporcionalmente a variação da largura da via.

Tabela 4. Percentagens da variação da média anual de iluminância interna em função do tipo de céu e da largura da via 12 e 18m

Iluminância interna (%)		
Céu – Largura (m)	12	18
3 (encoberto)	-	22%
7 (parcialmente nublado)	-	25%
12 (claro)	-	28%

Tabela 5. Percentagens da variação do valor da média anual de iluminância interna em função do tipo de céu e da largura da via 20 e 26m

Iluminância interna (%)		
Céu – Largura (m)	20	26
3 (encoberto)	-	9%
7 (parcialmente nublado)	-	8%
12 (claro)	-	7%

Para os três céus, 3, 7 e 12, observa-se que as variações percentuais no intervalo entre 20 e 26 m são menores que no intervalo entre 12 e 18m. Observa-se que a maior influência na iluminância do ambiente aconteceu no intervalo de largura mais estreito, e no intervalo mais largo de via a influência é menor.

Observou-se também que, ao contrário do intervalo de largura de via mais estreito (entre 12 e 18m), onde no céu 12 se encontra o maior percentual e no céu 3 o menor percentual, agora no intervalo de via mais largo (entre 20 e 26m) o maior percentual se encontra no céu 3 e o menor percentual no céu 12. O pressuposto assumido com esses resultados é o de que o parâmetro "largura de via" é mais influenciador na variação dos valores de iluminância, quando se trata de vias mais largas (no intervalo entre 20 e 26m) para o céu 3. No caso de vias mais estreitas (no intervalo entre 12 e 18m), o parâmetro "largura de via" possui maiores influências no céu 12.

Em função dos resultados das simulações citados no parágrafo anterior, observou-se a necessidade de investigação do comportamento da iluminância no intervalo entre a largura de via 12 e 18m. O resultado das novas simulações expressos nas Tabelas 6 e 7 mostram que no intervalo de largura de via mais estreita (12m para 18m) para o céu 3, 7 e 12 há um acréscimo nos valores de iluminância, em que as diferenças percentuais crescem em maior escala à medida que a largura de via aumenta (entre o intervalo 12 e 18m). Esta análise foi possível em função do comportamento que pode se presumir quanto à variação percentual no intervalo entre 20 e 26m. Acompanhando a tendência de decréscimo nos percentuais, os valores para a coluna 22 e 24, para todos os céus, podem ser descritos na tabela 8.

Tabela 6. Valor da média anual de Iluminância interna média em função do tipo de céu e da largura da via, evidenciando-se a largura de via 14 e 16m.

Iluminância interna (lx)						
Céu – Largura (m)	12	14	16	18	20	26
3 (encoberto)	149	159	172	182	188	206
7 (parcialmente nublado)	559	607	653	696	724	780
12 (claro)	963	1066	1145	1236	1293	1387

Tabela 7. Porcentagem de Variação da média anual de Iluminância interna em função do tipo de céu e da largura da via, evidenciando-se a largura de via 14 e 16m.

Iluminância interna (%)						
Céu – Largura (m)	12	14	16	18	20	26
3 (encoberto)	-	7%	8%	6%	3%	9%
7 (parcialmente nublado)	-	9%	8%	7%	4%	8%
12 (claro)	-	11%	7%	8%	5%	7%

Tabela 8. Porcentagem de Variação da média anual de Iluminância interna em função do tipo de céu e da largura da via, evidenciando-se a largura de via 22 e 24m.

Iluminância interna (%)								
Céu – Largura (m)	12	14	16	18	20	22	24	26
3 (encoberto)	-	7%	8%	6%	3%	3%	3%	3%
7 (parcialmente nublado)	-	9%	8%	7%	4%	3%	3%	3%
12 (claro)	-	11%	7%	8%	5%	2%	2%	2%

A investigação mostrou também que, na ampliação da via de 12 para 14 m, para o céu 7 e 12, ocorrem os maiores aumentos percentuais de iluminância. Conclui-se desta forma que se a intenção é a adoção da via com largura de 12m (no céu 7 e 12), vale a pena a sua ampliação para 14m, em função dos maiores aumentos percentuais de iluminância.

b) Percentual de horas dos dias do ano em função das UDI

A Tabela 9 mostra o comportamento dos percentuais de horas de iluminância dos valores no intervalo caracterizado como insuficiente, isto é, $UDI < 100$ lx. Os dados mostram que para o céu 3, 7 e 12, à medida que se aumenta a largura da via, há reduções nos percentuais de horas do dia dentro desse intervalo. Ressalta-se que a maior diferença percentual entre a menor largura (12m) e a maior largura (26m) ocorre no céu 3 com aproximadamente 7% a menos de horas. A menor diferença percentual ocorre no céu 7 e em seguida no céu 12, respectivamente 2% e 3% de horas.

Dessa forma pode-se concluir que o parâmetro largura de via é mais relevante no céu 3 no que diz respeito às alterações de percentuais de horas no intervalo insuficiente. Assim pode-se dizer que no que diz respeito ao parâmetro largura de via, o céu 3 é mais sensível às alterações percentuais de horas no intervalo $UDI < 100$. O aumento na largura das vias ocasiona mais benefícios no céu 3 em função do maior amortecimento de horas nesse intervalo, conduzindo às reduções nos gastos com iluminação artificial. Da mesma forma reduções nas larguras de vias ocasionam por outro lado uma maior ampliação de horas no intervalo insuficiente.

Tabela 9. Percentual de horas dentro do intervalo de valores insuficiente das UDI, em função do tipo de céu e largura de via.

Intervalo de valores insuficiente					
UDI < 100					
Céu – largura de via (m)	12	18	20	26	Diferenças entre maior e menor largura (%)
3 (encoberto)	32%	27%	27%	25%	-7%
7 (parcialmente nublado)	18%	17%	17%	16%	-2%
12 (claro)	18%	16%	16%	15%	-3%

A Tabela 10 apresenta o comportamento da disponibilidade de iluminação no ambiente interno em relação ao Céu 3, 7 e 12, compreendido no intervalo de valores das UDI entre $100 \leq \text{UDI} < 500$, o qual necessita de iluminação complementar.

Os dados mostram que para o céu 3 a variação na largura da via, de 12 para 26m, contribuiu com as menores diferenças percentuais, com aumento de cerca de 7% de horas do dia dentro desse intervalo das UDI. Para o céu 7 houve a maior diferença percentual, onde se reduz em cerca de 13% o número de horas que não mais compreendem esse intervalo suficiente das UDI. Também no céu 12 há um decréscimo no percentual de horas nesse intervalo, cerca de 8% de horas.

Dessa forma pode-se concluir que para o céu 3 à medida que se aumenta a largura da via há também aumentos percentuais de horas do dia dentro desse intervalo das UDI. Para o céu 7 e 12 o comportamento é inverso, à medida que se aumenta a largura de via há reduções nos percentuais de horas do dia nesse intervalo. Ocorre que à medida que há o alargamento da via, os percentuais de valores que se encontravam nesse intervalo suficiente têm seus valores alterados, isto é, aumentados. Esses valores extrapolam esse intervalo das UDI compondo agora o novo intervalo, isto é, entre $500 \leq \text{UDI} < 2000$. Desta forma a redução nesses percentuais (no intervalos das UDI $100 \leq \text{UDI} < 500$), para o céu 7 e 12, trouxe benefícios na medida em que haverá um aumento no percentual de horas que não necessita de iluminação complementar.

Tabela 10. Percentual de horas dentro do intervalo de valores suficiente das UDI, em função do tipo de céu e largura de via.

Intervalo de valores suficientes das UDI					
$100 \leq \text{UDI} < 500$					
Céu – largura de via (m)	12	18	20	26	Diferenças entre maior e menor largura (%)
3 (encoberto)	68%	73%	74%	75%	7%
7 (parcialmente nublado)	38%	29%	28%	26%	-13%
12 (claro)	55%	51%	49%	47%	-8%

Na Tabela 11 os dados mostram que o parâmetro largura de via influencia na variação das porcentagens das horas do dia que permanecem dentro do intervalo suficiente das UDI ($500 \leq \text{UDI} < 2000$ lux) sem necessidade de iluminação complementar. Para o céu 3 não há valores de iluminância dentro deste intervalo suficiente de valores. Para o céu 7 e 12 à medida que se aumentam as larguras das vias também aumentam a porcentagem de horas dentro deste intervalo. Para o céu 7 o aumento da largura de via contribuiu para a maior diferença percentual entre a menor largura (12m) e a maior largura (26m), com cerca de 10% a mais de horas nesse intervalo. Para o céu 12 também ocorreram aumentos percentuais de horas nesse intervalo, sendo porém mais reduzido, cerca de 5%

Desta forma conclui-se que para o céu 7 e 12 as alterações na largura de via acarretam alterações nos percentuais de horas no intervalo suficientes das UDI. O aumento da largura da via é acompanhado por aumentos nos percentuais de horas nesse intervalo, da mesma forma reduções na largura da via também são

acompanhadas por reduções percentuais de horas. Evidencia-se que no céu 7 este parâmetro tem a sua maior relevância, para esse intervalo de valores.

Tabela 11. Percentual de horas dentro do intervalo de valores suficiente das UDI, em função do tipo de céu e largura de via.

Intervalo de valores suficientes das UDI					
500<=UDI<2000					
Céu – largura de via (m)	12	18	20	26	Diferenças entre maior e menor largura (%)
3 (encoberto)	0%	0%	0%	0%	0%
7 (parcialmente nublado)	40%	47%	48%	50%	10%
12 (claro)	11%	14%	15%	17%	5%

A Tabela 12 mostra o comportamento dos valores no intervalo $UDI \geq 2000$ caracterizados como excessivo, em função da variação da largura das vias. Os dados mostram que para o céu 3, como já esperado, não há porcentagens de horas neste intervalo de valores. No céu 7 e céu 12 o aumento na largura de via contribuiu para alterações nos percentuais, com aumento nos percentuais de horas. Observa-se que a maior alteração percentual ocorre no céu 12, com cerca de 6% de diferença entre a largura mínima (12m) e a largura máxima (26m), em seguida no céu 7 com uma diferença percentual de 4%.

Pode-se dizer que aumentos nas larguras de vias no céu 7 e 12 geram aumentos nos percentuais de horas caracterizados como excessivos. Apesar de no céu 7 ocorrer a maior diferença percentual, e no céu 12 a menor diferença percentual, pode-se considerar insignificante a diferença de valores entre elas.

Tabela 12. Percentual de horas dentro do intervalo de valores excessivo das UDI, em função do tipo de céu e largura de via.

Intervalo de valores excessivo					
UDI >=2000					
Céu – largura de via (m)	12	18	20	26	Diferenças entre maior e menor largura (%)
3 (encoberto)	0%	0%	0%	0%	0%
7 (parcialmente nublado)	4%	7%	8%	8%	4%
12 (claro)	16%	19%	20%	22%	6%

c) Iluminância provenientes do Céu e do Sol, no ambiente interno

A Tabela 13 apresenta as contribuições provenientes do céu e do sol para a composição da iluminância média anual interna, para o céu 3,7 e 12 em função da variação da largura das vias. Os resultados mostram que, para cada um dos céus investigados, há variações na contribuição da iluminância proveniente do céu e do sol.

Para o céu 3, 100% de toda a iluminância é proveniente do céu. Para o céu 7 a iluminância interna é composta de uma contribuição proveniente de cerca de 60% do céu e 40% do sol. Para o céu 12 a iluminância interna é composta de uma contribuição proveniente em sua maior parte do sol, com aproximadamente 84%, e o restante do céu, com 16%. Este resultado indica a necessidade de proteções nas aberturas em situações de céu claro onde a maior parte da contribuição é proveniente do sol.

Para o céu 7 e 12, comparando-se a menor largura de via com a maior largura, observa-se que as variações percentuais de contribuição proveniente do céu e do sol são insignificantes. Desta forma pode-se concluir que alterações nas larguras das vias não contribuirão para alterações nas proporções das iluminância proveniente do céu e do sol.

Tabela 13. Porcentagens de Iluminâncias provenientes do Céu, do Sol em função do valor da iluminância média anual interna.

Porcentagens de Iluminância – Céu/Sol (%)						
Céu	Lux / largura (m)	12	18	20	26	Diferenças percentuais entre a maior e menor largura (%)
3 (encoberto)	Céu	100%	100%	100%	100%	0
	Sol	0%	0%	0%	0%	0
7 (parcialmente nublado)	Céu	60%	60%	59%	61%	1
	Sol	40%	40%	41%	39%	-1
12 (claro)	Céu	17%	16%	16%	16%	-1
	Sol	83%	84%	84%	84%	1

Conclusões

A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar a influência da largura das vias na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. As variações das larguras das vias de 12 m para 26 m ocasionam aumentos nos valores de iluminância no ambiente interno para o céu 3, 7 e 12, os quais contribuirão para maior disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno e redução dos gastos com iluminação artificial. Constatou-se uma interferência maior na disponibilidade de iluminação natural quando da variação da largura em vias mais estreitas do que largas.

O aumento na largura de via, também ocasiona variações nos percentuais de horas nos intervalos das UDI. Para o intervalo insuficiente a redução mais significativa ocorre no céu 3. Para o intervalo suficiente das UDI, $500 \leq UDI < 2000$, o aumento da largura de via ocasiona aumento significativo nos percentuais de horas para o céu 7 e 12. Esses resultados demonstram a contribuição do aumento da largura de via na minimização das horas que necessitam de iluminação artificial.

Constataram-se também, para os céus investigados, diferentes relações na contribuição para a iluminância, provenientes do céu e do sol. Estes resultados indicam a necessidade de proteções nas aberturas em situações de céu claro onde a maior parte da contribuição é proveniente do sol.

Por fim os resultados obtidos nas simulações confirmam a necessidade de considerar a largura das vias, nos instrumentos legais de controle do desenho urbano, de forma a garantir as iluminâncias adequadas no ambiente interno, bem como na redução dos gastos com energia elétrica para iluminação artificial.

No que se refere às limitações pode-se dizer que as simulações limitam o estudo a uma tipologia de abertura, área, dimensões e características do fechamento transparente, bem como a um ambiente interno com características definidas quanto às dimensões e superfícies refletoras. As simulações também limitam a pesquisa ao estudo do ambiente interno localizado no quarto andar, primeiro andar tipo, bem como a três tipos de céus na segunda fase do trabalho.

Como perspectiva de continuidade do estudo pode-se estabelecer outros pontos no plano de trabalho dentro do ambiente, o que permitirá maiores análises, bem como a investigação em andares inferiores e superiores ao estudado. Os resultados desta investigação podem ser também associados a outros parâmetros urbanos e da edificação, verificando a relevância destas associações na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno.

Referências

ARAÚJO, I. A. L. ; CABÚS, R. C. Influência da luz natural refletida pelo entorno para a iluminação de edifícios em cânions urbanos no trópico úmido. In: ENCAC-ELACAC 2007, 2007, Ouro Preto [MG]. ENCAC-ELACAC 2007. Porto Alegre : Antac, 2007. v. 1.

CABÚS, R.C. TropLux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: IV Encontro Latino-Americano e VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió [AL], 2005.

———. TropLux, versão 3: Guia do Usuário, Maceió [AL]: Grilu, 2006.

DUBOIS, M.C. Integration of daylight quality in the design studio: from research to practice. PLEA2006 – The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

KRUGER, E., SUGA, M. Proposta de restrições de altura para cânions urbanos para aproveitamento de luz natural em edificações. ENCAC 2007. Ouro Preto [MG], 2007, p.1001-1008.

LEDER, S. M.; PEREIRA, F. O. R. ; MORAES, L. N. Caracterização 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, 2007, Ouro Preto [MG]. Anais do IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2007.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, London: Elsevier, v.38, p.905-913, 2006.

NIKIFORIADIS, F.; PITTS, A. 3D digital geometric reconstruction of the urban environment for daylight simulations studies. In: INTERNATIONAL BUILDING SIMULATION CONFERENCE, 8., Eindhoven, Netherlands, 2003. *Proceedings...Eindhoven: IBPSA, 2003.*

NG, E. Towards better building and urban design in Hong Kong. In: INTERNATIONAL CONFERENCE PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 2005, Santorini, Greece. *Proceedings... Santorini: M. Santamouris, 2005, p.923-928.*

OAKLEY, G.; RIFFAT, S. B.; SHAO, L. Daylight performance of lightpipes. *Solar Energy* Vol. 69, No. 2, pp. 89-98, 2000.

OLIVEIRA, L. P.; ROMERO, M. B.; Reflexões sobre a relação w & h. Considerações sobre a altura, espaçamento e profundidade das edificações na malha urbana e suas conseqüências. *Encac*, 2007

ROBBINS, Claude L. *Daylighting: design and analysis*. Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York, 1986.

THERMIE ENERGY RESEARCH GROUP. *Daylighting in buildings*. Dublin: School of Architecture, University College Dublin, 1994.

TREGENZA, P. e I. M. WATERS. Daylight coefficients. *Lighting Research & Technology*, v.15, n.2, p.65-71, 1983.

VITÓRIA (Município). Código de obras. Lei n.º 4821, de 30 de dezembro de 1998. Institui o Código de Edificações do Município de Vitória e dá outras providências, Vitória [ES], p. 72.1998.

VITÓRIA (Município). Plano Diretor Urbano. Lei n.º 6.705, de 2006. Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Vitória, institui o Plano Diretor Urbano e dá outras providências, Vitória [ES], p.48. 2006.