



ILUMINAÇÃO NATURAL ATRAVÉS DO USO DE TORRES DE VENTO EM HABITAÇÕES GEMINADAS

**Tathiane A. L. Martins (1); Evelise L. Didoné (2); Leonardo S. Bittencourt (3);
Cláudia Barroso-Krause (1)**

(1) Programa de Pós-graduação em Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil – e-mail: tathianemartins@gmail.com

(2) Programa de Pós-graduação em Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – e-mail: evelisedidone@gmail.com

(3) Dinâmicas do Espaço Habitado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Alagoas, Brasil

RESUMO

As edificações residenciais geminadas de meia-morada, também designadas popularmente casas de “porta-e-janela”, podem ser amplamente observadas como padrão tipológico em diferentes localidades e condições climáticas no Brasil, especialmente na região nordeste do país. Herdada do fazer arquitetônico português do período colonial brasileiro, caracteriza-se por não apresentar recuos laterais e por possuir cômodos (alcovas) desprovidos de acesso à ventilação e iluminação natural. Em climas tropicais, esses recursos associados à proteção solar constituem-se em estratégias importantes para obtenção de conforto ambiental por meios passivos, os quais contribuem para redução na demanda energética em edificações. Uma das alternativas existentes para se alcançar tal proposição é a utilização de torres de vento situadas acima do nível da coberta. Estudos qualitativos recentes sobre o padrão de circulação do vento no interior da tipologia examinada demonstraram que tal dispositivo pode se constituir em eficiente solução arquitetônica na promoção da renovação do ar e do conforto higrotérmico. De forma complementar a esses estudos, o presente trabalho examina o potencial de utilização desse dispositivo para proporcionar iluminação zenital, considerando-se os coeficientes de luz diurna obtidos no interior das alcovas. Para tanto, foram realizadas simulações computacionais paramétricas, utilizando o *software Daysim* para avaliar o comportamento dinâmico da luz natural no interior do ambiente. Foram avaliados ambientes em sua configuração original e com diferentes variações geométricas do dispositivo. Os resultados indicam que o uso das torres de vento em ambientes enclausurados apresenta bom potencial para aproveitamento da luz natural dependendo de sua configuração. Os modelos de torre com a presença de um defletor interno permitiram inter-reflexões no interior do ambiente deixando a iluminação melhor distribuída. Com a avaliação do comportamento da luz natural através da medida dinâmica, foi possível identificar as diferenças nos resultados da iluminação natural entre os modelos com diferentes características e identificar a área do ambiente que apresenta determinada autonomia da luz natural.

Palavras-chave: Habitações geminadas; Torres de vento; Iluminação natural; Simulação computacional.

1 INTRODUÇÃO

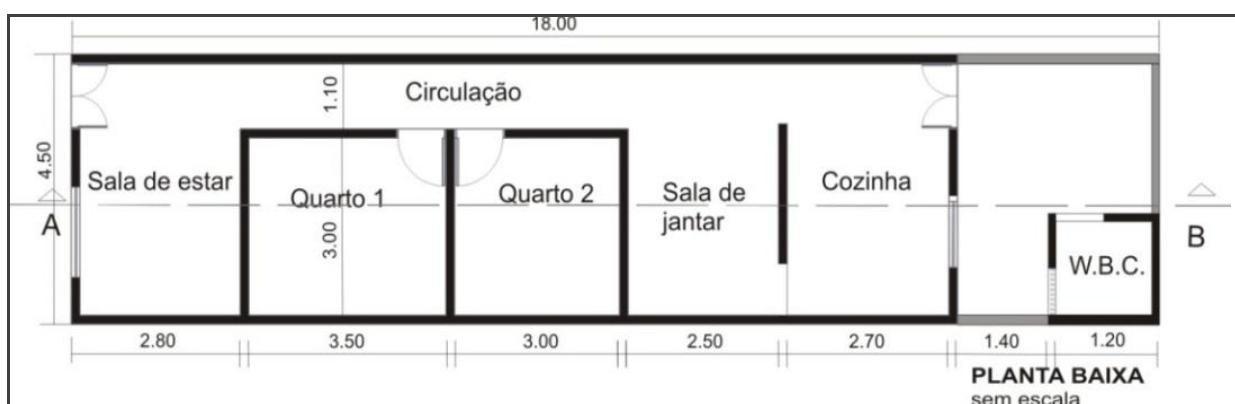
As edificações residenciais geminadas de meia-morada consistem em tipologia arquitetônica tradicional importada dos portugueses no período colonial no Brasil. Esse padrão construtivo, amplamente disseminado, pode ser verificado em diversas regiões climáticas do país, abrigando grande parcela da população de baixa renda, sobretudo na região nordeste. A popular “casa de porta e janela” é caracterizada por edificação térrea cujo perímetro encontra-se implantado no limite do lote e no alinhamento das vias públicas. As edificações urbanas em sua maioria apresentam-se, portanto, sem recuos ou jardins, formando longos corredores edificados (REIS FILHO, 1977) (Figura 1).

Silva (1991) descreve a planta da habitação recorrentemente encontrada no repertório arquitetônico no Estado de Alagoas, cujos “cômodos encontram-se alinhados no decorrer de uma circulação interna, conformando-se ao lote estreito e longo, cuja testada pode variar de 3 a 5 m. Entre a sala de estar, situada na entrada da casa e a cozinha, nos fundos, encontram-se dispostos, normalmente, dois quartos denominados de alcovas. A composição das paredes antes de taipa, depois de tijolos, suporta o telhado de duas águas que, desde o século XIX situa-se por trás da platibanda” (SILVA, 1991) (Figura 2).

No que tange ao seu desempenho ambiental, a popular habitação geminada em questão caracteriza-se por não apresentar proteção solar nas fachadas, afastamentos nem aberturas laterais, gerando ambientes sem acesso à ventilação e iluminação natural. Características como pé-direito baixo e ausência de forro podem prejudicar as condições de conforto nos ambientes internos, pois intensificam as trocas por radiação térmica entre os habitantes e o telhado e, aquecem mais rapidamente o ar interior. Quanto à permeabilidade adequada para ventilação e iluminação natural, só são favorecidos os ambientes situados nas proximidades das duas únicas fachadas voltadas para o exterior. Dessa forma, a maioria das edificações que obedecem ao padrão descrito acima se encontra prejudicada em relação a esses fatores, ficando os ambientes internos sem uma renovação do ar adequada e sem acesso a luz natural.



Figura 1 - Exemplos da arquitetura presente no município de Pão de Açúcar no Estado de Alagoas (região semi-árida do Estado), destacando a predominância da tipologia arquitetônica da casa de “porta-e-janela” (Fonte: Tathiane Martins, 2008).



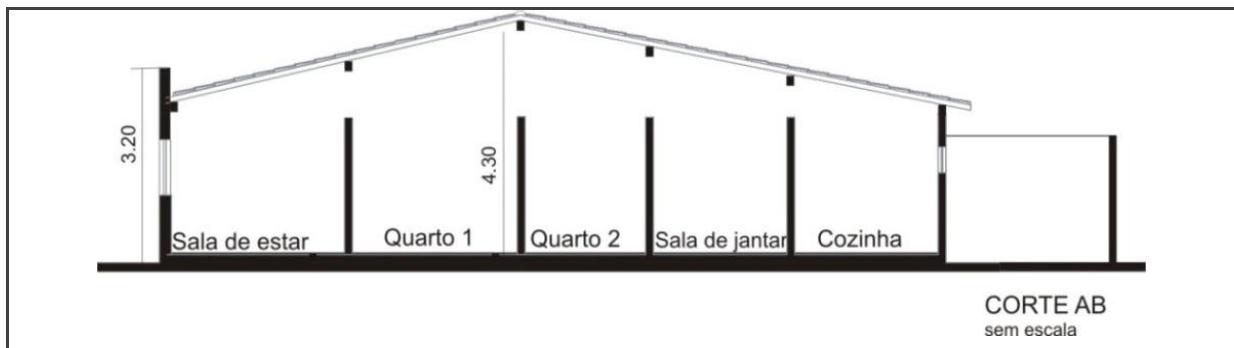


Figura 2 – Planta e corte do modelo de habitação geminada examinada.

Em climas tropicais, uma das soluções mais eficientes para melhoria do desempenho ambiental em edificações é evitar o ganho excessivo de calor externo, filtrando o excesso de luz e promovendo o movimento do ar (KOENIGSBERGER, 1974; FATHY, 1986; BAHADORI, 1992; GIVONI, 1994; GIVONI, 1996). Sobretudo para edificações populares e de interesse social, o uso de recursos naturais de fonte renovável, como a iluminação e ventilação natural, dado a seu caráter gratuito de uso, pode além de contribuir para uma melhoria na qualidade ambiental das habitações, reduzirem sua demanda energética (BARROSO-KRAUSE, 2005).

Em grande parte da região do Nordeste do Brasil, a exemplo da costa litorânea (CARDOSO et al., 2005) ou ainda no interior da região semi-árida como na cidade Pão de Açúcar no Estado de Alagoas, tanto as taxas de velocidade do ar quanto o nível de luminância do céu são bastante altos e passíveis de serem amplamente utilizados para proporcionar conforto por meio do uso de elementos de captação em edificações. Apesar de ainda pouco empregada, uma das estratégias existentes para um eficiente aproveitamento desses recursos é o uso de torres de vento.

As torres de vento consistem em torres desenhadas para “capturar” o vento que passa acima da cobertura e redirecioná-lo para o interior dos espaços de uma edificação (BAHADORI, 2008). Esse dispositivo é composto por um duto de altura variável que possui abertura acima do telhado da edificação. A torre pode ser projetada tanto para captação quanto para extração do ar interno, dependendo da configuração e orientação das aberturas em relação à direção dos ventos dominantes (CHANDRA, 1989).

Estudo recente realizado pelos mesmos autores (MARTINS et al., 2009) foi examinado o potencial do uso de torres de vento para introdução da ventilação natural nas alcovas em uma habitação geminada de meia-morada típica, tal como a acima descrita. Por meio do referido trabalho foi possível verificar que o uso das torres de vento podem se constituir em estratégia valiosa na promoção da renovação do ar e do conforto ambiental, através da circulação do ar no interior das alcovas. Os estudos, realizados por meio de ensaios em mesa d’água, mostraram-se bastante satisfatórios na análise qualitativa sobre a admissão do ar no dispositivo, a circulação no interior do ambiente e a extração, em cada um dos modelos de torres de vento propostos. Tais modelos, como serão revistos mais adiante foram, no âmbito da proposta do presente trabalho, submetidos à avaliação sob o ponto de vista de sua eficiência luminosa. As torres de vento foram avaliadas operando agora também como dutos de luz. Para isso, utilizou-se como contexto de estudo, tipologia implantada na cidade de Pão de Açúcar, situada no semi-árido do Estado de Alagoas.

2 OBJETIVO

O trabalho propõe examinar o potencial de utilização de “torres de vento” em edificações residenciais geminadas para proporcionar iluminação zenital no interior dos seus ambientes enclausurados.

3 METODOLOGIA

Para atender ao objetivo proposto, a pesquisa obedeceu três etapas metodológicas principais, a saber:

- Definição dos modelos da habitação a serem estudados;
- Definição do contexto e das variáveis examinadas;
- Análise computacional paramétrica por meio do uso do software Daysim.

3.1 Definição dos modelos

A investigação foi desenvolvida por meio da análise de três modelos tipológicos. Foram avaliados ambientes com a configuração original da habitação, ou seja, situação desprovida de aberturas para o exterior e outras duas variações geométricas de torre de vento.

Os ambientes de configuração original foram avaliados com a porta do quarto fechada e com a porta aberta. Vale ressaltar que os quartos dessa configuração não possuem janelas, apenas uma abertura na parede superior (espaço existente entre as divisórias internas e o plano da coberta, ver figura 2). Os ambientes dessa mesma tipologia foram também avaliados com duas diferentes configurações geométricas de torres de vento: torre de luz com duto reto e torre dotada de um defletor interno na parte inferior do duto. Ainda, na abertura das torres avaliou-se a mesma sem vidro, com vidro duplo de 6mm com Fator Solar (FS) de 90% e com FS de 67% (ver resumo dos modelos avaliados na Tabela 1).

A proposta de janela com vidro na abertura da torre foi incluída entre as variáveis estudadas, pois possibilita avaliar o desempenho luminoso do dispositivo quando a opção do usuário for controlar a entrada do vento. Como é sabido, em clima semi-árido, em determinados períodos do ano, o uso da ventilação natural pode ser indesejável em função, ora dos elevados valores diurnos, ora dos baixos valores noturnos da temperatura do ar.

Tabela 1: Modelos para simulação.

Sem torre de luz		Com torre de luz					
Porta aberta	Porta fechada	Torre com duto reto			Duto com defletor		
		Sem vidro	Vidro 6mm FS = 90%	Vidro 6mm FS = 67%	Sem vidro	Vidro 6mm FS = 90%	Vidro 6mm FS = 67%
Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8

Figura 3 - Planta e corte do modelo adaptado com torre com duto reto.

3.2 Definição do contexto e variáveis estudadas

Neste item será apresentado o contexto climático de uma cidade onde o padrão arquitetônico examinado encontra-se de forma bastante recorrente, bem como, todas as variáveis que definiram o plano de investigação.

3.2.1. Contexto climático da cidade de Pão de Açúcar - AL

A cidade de Pão de Açúcar, contexto de estudo deste trabalho, está situado a $9^{\circ}44'54''$ de latitude sul e $37^{\circ}26'12''$ de longitude oeste, localizado na porção centro-oeste do Estado de Alagoas, inserida na meso região do Sertão Alagoano, a uma altitude aproximada de 19m (IBGE, 2008), às margens do Rio São Francisco.

Para caracterizar o clima da cidade, classificado como tropical semi-árido, este pode ser definido, predominantemente, pela ocorrência de amplitudes significativas de temperatura diária e sazonal, e de grandes massas de ar quentes, condutoras de poeira. Este clima, também denominado “quente-seco”, devido à predominância de meses com essa característica, apresenta, no entanto, duas estações bem distintas: um longo período de seca e outro curto período de chuva, radiação direta intensa e baixo teor de umidade relativa do ar (ROMERO, 1988). Os dados para cidade apresentam temperatura média máxima de $36,5^{\circ}\text{C}$ e média mínima de 24°C e oscilação diária média de $13,4^{\circ}\text{C}$. A umidade relativa no curto período de chuva – Maio à Julho – registra média de 85%. Nos meses de seca há uma evaporação maior que precipitação e os valores relativos à umidade caem para uma média de 53,6%. Os dados do vento para a região em estudo apresentam maior freqüência e intensidade provenientes do quadrante Sudeste (INMET, 2008). Os níveis de radiação solar e luminâncias medidos apresentaram-se como um dos mais elevados do Estado (ATLAS SOLARIMÉTRICO DE ALAGOAS, 2008).

3.2.2. Variáveis examinadas

Foram realizadas simulações computacionais paramétricas, utilizando o *software Daysim* para avaliar o comportamento dinâmico da luz natural no interior do ambiente, através da análise com o *Daylighting Autonomy* (DA)¹.

Para todos os modelos acima descritos, foram consideradas superfícies internas de parede e teto, bem como todas as superfícies do duto de ventilação com refletância 80% e, piso do ambiente com refletância de 20%. A orientação geográfica definida para o plano onde se encontra a abertura da torre foi a Sudeste (SE). Tal variável foi assim definida em função desta se constituir a orientação mais favorável do ponto de vista do aproveitamento dos ventos dominantes na região examinada definida para este estudo. Todos os modelos foram simulados, portanto, com orientação Sudeste (SE) e o período de ocupação considerado foi de 8h às 17h.

A iluminância para os ambientes em estudo foi orientada pelas recomendações da NBR 5413 – Iluminância de Interiores, para a verificação no atendimento ao nível de iluminância recomendado. Sendo assim, a iluminância requerida no interior dos quartos é de 150lux.

Para a avaliação do *Daylight Autonomy* (DA) no plano de trabalho as simulações foram realizadas em uma quantidade de pontos suficiente para caracterizar um plano de análise. O ambiente interno está dividido em áreas iguais, formando uma malha onde as medidas são dadas no centro de cada área. A malha de pontos é uma superfície horizontal situada a 75cm de altura do piso (Figura 4). Sendo a quantidade de pontos da malha sempre definida em função do tamanho do ambiente em estudo.

¹ *Daylight Autonomy* (DA) é definida como uma porcentagem das horas ocupadas por ano, nas quais um nível mínimo de iluminância pode ser mantido, apenas pela iluminação natural (REINHART e MORRISON, 2003).

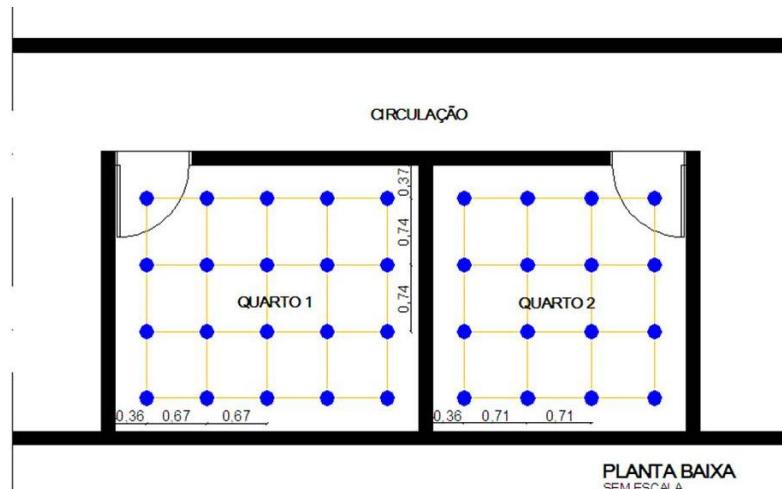


Figura 4- Plano de análise.

3.3 Análise computacional paramétrica – software Daysim

Como já informado, as simulações de iluminação natural foram realizadas com o software *Daysim*, que fornece dados para a avaliação da luz natural (*Daylight Autonomy* - DA). Para iniciar as simulações foi necessário preparar os modelos computacionais em um programa CAD. O *Daysim* aceita modelagem em diversos softwares, contanto que o arquivo seja exportado no formato 3ds. Após inserir o modelo no *Daysim* os parâmetros da simulação devem ser configurados. Como o *Daysim* simula a iluminação através do RADIANCE, seu tutorial sugere alguns dados de entrada que devem ser inseridos de acordo com as características do modelo utilizado (ver Tabela 2 e Tabela 3). Os parâmetros de simulação diferem de acordo com as características construtivas dos modelos, neste caso, modelos sem proteção solar e modelos com proteção solar. Esses parâmetros também interferem na precisão e duração da simulação.

Após cada simulação, o programa produz um relatório com os valores de DA para cada ponto da malha.

Tabela 2: Dados de entrada para os modelos

Modelos	Interreflexão no ambiente	Divisão do ambiente	Amostragem do ambiente	Acurácia	Resolução	Fonte direta	Amostragem direta
Sem proteção solar	5	1000	20	0.1	300	0	0
Com proteção solar	7	1500	100	0.1	300	0	0

Fonte: Adaptado de REINHART (2006).

Os dados da tabela 1 foram utilizados na simulação do modelo da casa original, sem o uso de torres de vento. Os dados da tabela 2 foram utilizados nas simulações do modelo com o uso de torres de vento.

3.3.1 Arquivo climático

As simulações foram realizadas com o uso de um arquivo de dados meteorológico do tipo TRY (*Test Reference Year*). Os arquivos climáticos TRY baseiam-se num banco de dados climáticos que resultam num ano de referência relativo ao clima local, considerado como típico de cada localidade. Os arquivos de referência TRY incluem variáveis como: mês, dia e hora referentes à temperatura de bulbo seco e bulbo úmido; velocidade dos ventos, temperatura do solo; pressão barométrica; tipo de céu e radiação solar.

Devido à indisponibilidade de um arquivo climático completo para a cidade em estudo - Pão de Açúcar-AL - neste trabalho foi adotado como dado de entrada o arquivo climático TRY de referência

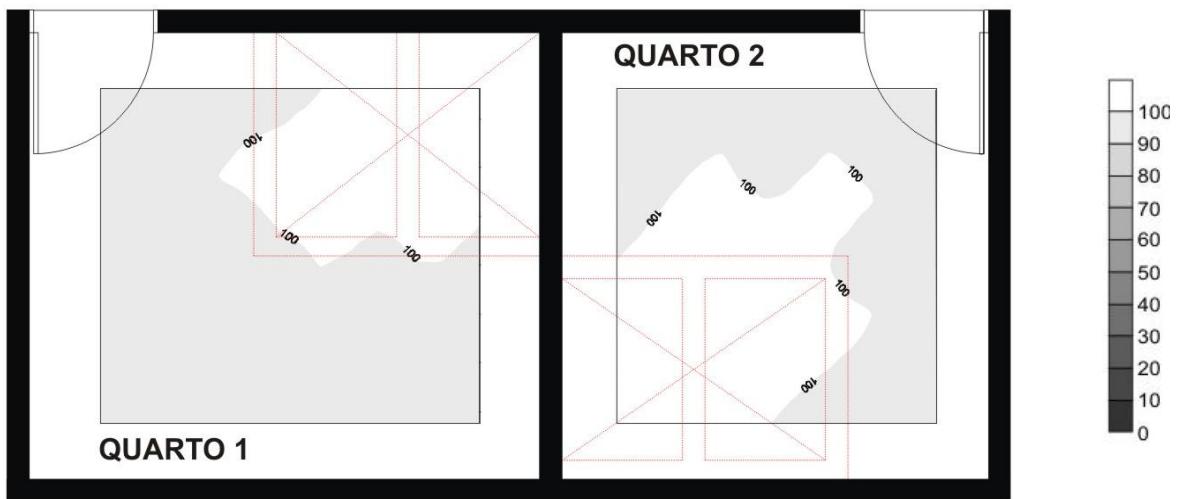
para a cidade de Petrolina/PE. Ambas as cidades encontram-se situadas na mesma meso-região geográfica de clima semi-árido, e apresentando configuração climática com características bastante semelhantes.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

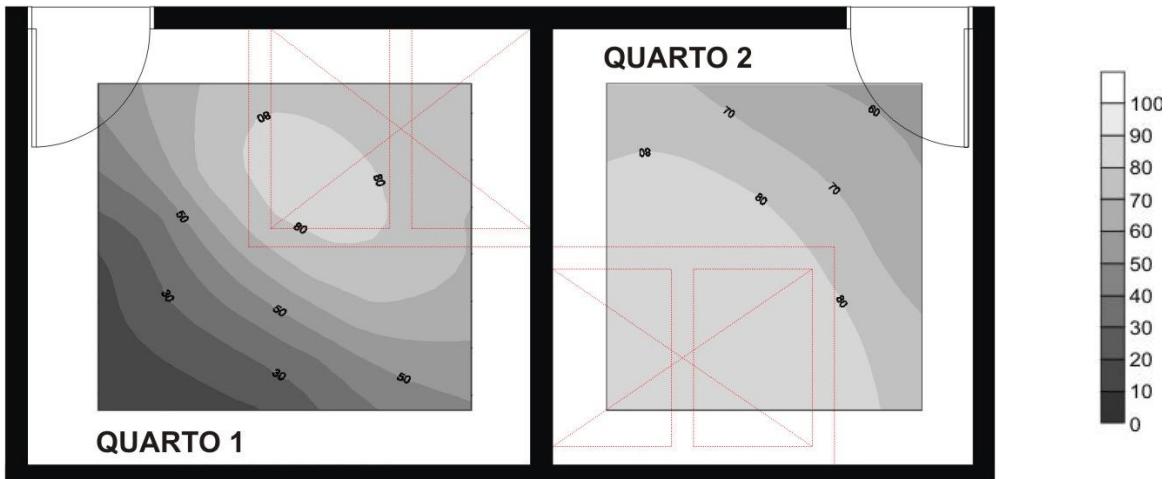
A análise do comportamento da iluminação natural, realizada através do uso da medida dinâmica do *Daylight Autonomy* (DA), indica a porcentagem das horas ocupadas por ano em que o nível de iluminância de 150lux, adotado como iluminância de projeto, é mantido no ambiente apenas com o uso da luz natural. Para melhor ilustrar, a análise é apresentada pelo método gráfico, com curvas isoDA (*Iso Daylight Autonomy*), onde cada valor de DA é representado por diferentes tons de cinza. Cada cor apresenta um valor de DA obtido em determinada quantidade de área do ambiente.

Os quartos com configuração original (Modelo 1 e Modelo 2) não conseguiram atingir a iluminância mínima requerida de 150 lux, apresentando um valor de DA igual a 0% em toda a área. O modelo original foi analisado para servir de comparação com os modelos de diferentes configurações. Os resultados referentes a esses modelos não estão apresentados, pois como era de se esperar, a ausência de abertura produz valores próximos de zero, em todos os pontos da malha.

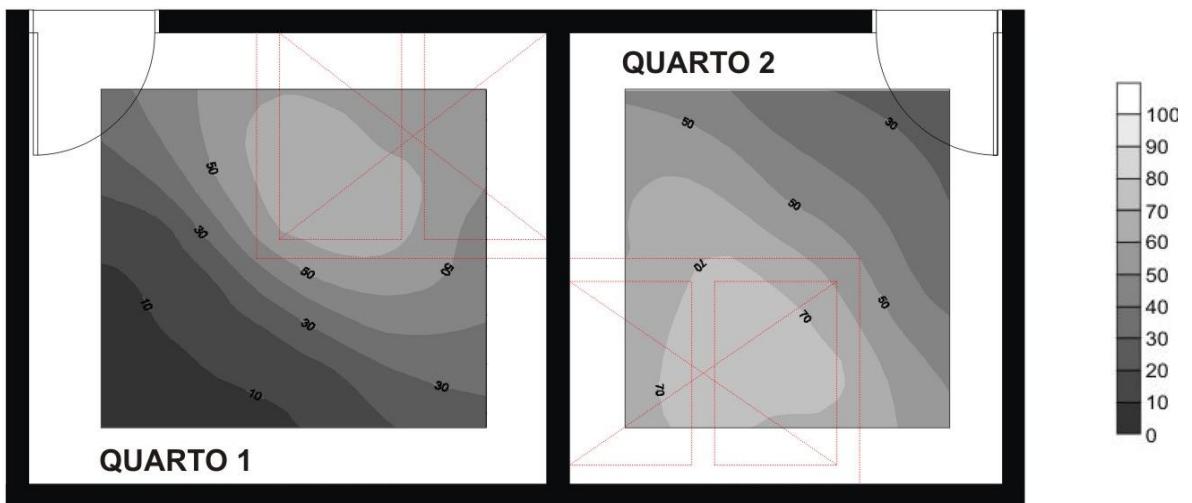
Na seqüência é possível observar as análises dos modelos com diferentes configurações. Estas estão divididas em dois grupos: Modelos com torre de duto reto e Modelos com torre com duto de luz dotado com um defletor interno (ver Figura 5 e Figura 6).



a) Modelo 3: Aberturas sem vidro.

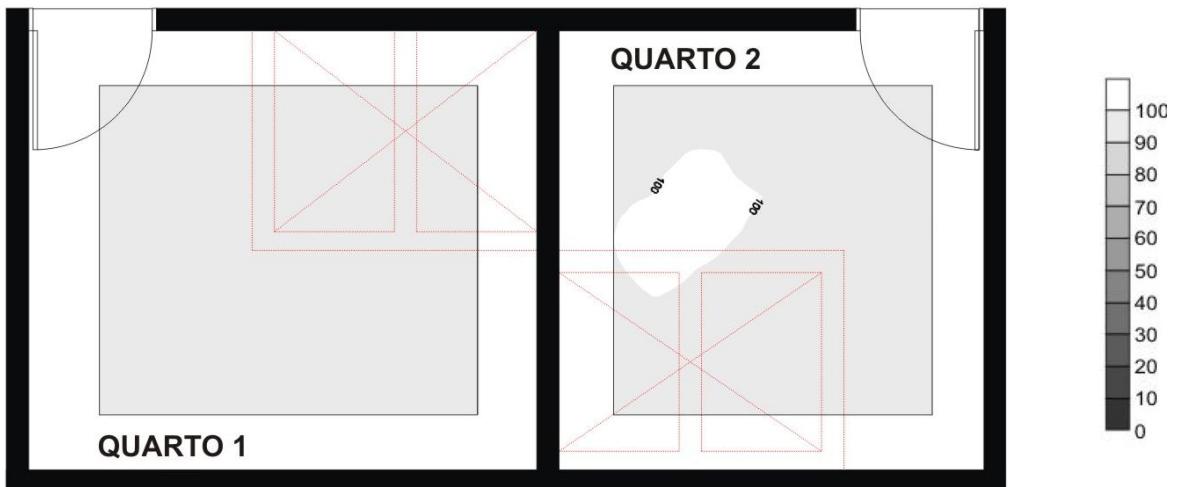


b) Modelo 4: Aberturas com vidro de Fator Solar = 90%.

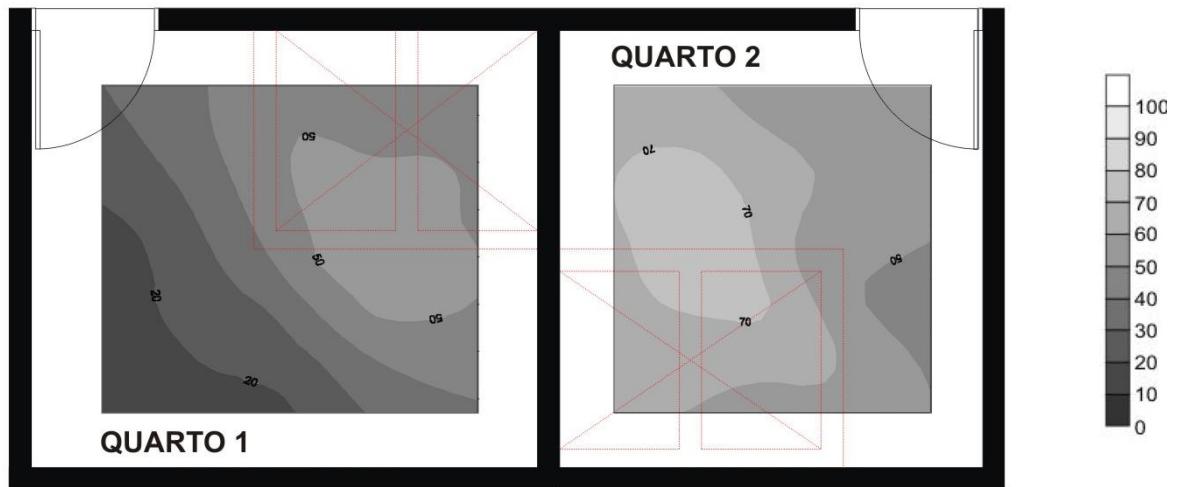


c) Aberturas com vidro de Fator Solar = 67%.

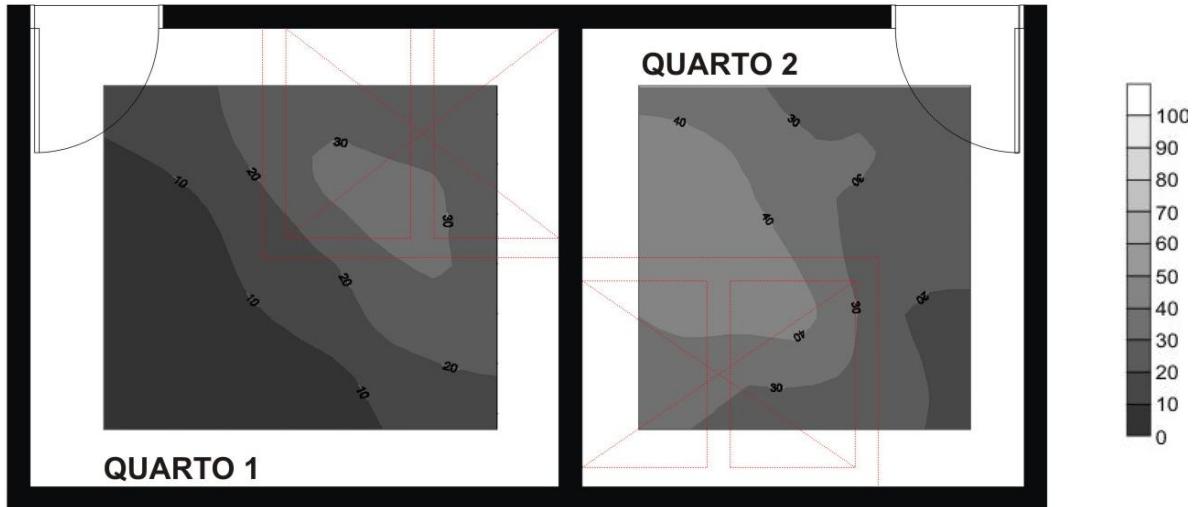
Figura 5: Modelo 5: Resultados dos quartos com captador reto.



a) Modelo 6: Aberturas sem vidro.



b) Modelo 7: Aberturas com vidro Fator Solar = 90%.



c) Modelo 8: Aberturas com vidro de Fator Solar = 67%.

Figura 6 - Resultados dos quartos com captador e com defletor.

Através dos casos apresentados pode-se analisar o comportamento da luz natural decorrente da influência dos diferentes parâmetros em estudo.

Conforme observado, o modelo com duto de luz reto sem a presença do vidro constituiu-se na situação com o maior nível de iluminância e autonomia pelo método utilizado, caracterizando autonomia de iluminação natural no período examinado de 100% na área mais próxima do duto, e 90% no restante do espaço. O valor do DA obtido é uma porcentagem das horas ocupadas por ano (neste trabalho adotou-se o período entre 8h e 17h), onde o nível mínimo de iluminância requerido, de **150 lux** foi mantido apenas com o uso da iluminação natural. Os elevados valores de DA também são ocasionados pela grande intensidade da radiação solar na Região do Nordeste brasileiro, local onde o estudo foi realizado.

Observa-se nesse modelo, independente das variações dos parâmetros relativos à abertura examinada, que a geometria da torre dotada de duto reto permite uma maior concentração de iluminância nos ponto da malha localizados imediatamente na saída do mesmo. O fator solar do vidro da abertura, apesar de possibilitar redução da radiação solar que a atravessa em forma de calor, implicou em significativa redução no percentual de autonomia de luz, diminuindo nos pontos mais afastados da saída do duto para até 60% (Figura 5b).

Distintamente, verifica-se que em todas as situações examinadas para o segundo modelo de torre (duto de luz dotado de defletor interno) que as curvas *isoDA* encontram-se mais afastadas umas das outras traduzindo maior uniformidade na distribuição da luz, tal como pode ser observado na figura 6 cujo gráfico aponta autonomia de 90% em todo o ambiente (quarto 1) nos períodos analisados. Tal fato justifica-se pelo aumento das inter-reflexões no interior do ambiente proporcionadas pela geometria do dispositivo agora dotado de um defletor na saída do duto. Tal dispositivo atua tal como uma prateleira de luz, refletindo os raios no plano da cobertura antes de alcançar o plano de trabalho, espalhando melhor a luz no ambiente. No entanto, ainda verificando-se um decréscimo quantitativo de luz quando na adoção de vidro com fator solar mais elevado.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho examinou o potencial de aproveitamento da iluminação natural através do uso de dois modelos de torres de vento para os ambientes isolados de um exemplar de habitação geminada de meia-morada. Tal tipologia arquitetônica constitui-se em padrão popular amplamente verificado e ainda bastante repetido em muitos municípios nordestinos. Ressalva-se, todavia, que quando esse tipo de edificação tratar-se de exemplar de caráter histórico, a intervenção proposta por esse trabalho

deverá ser considerada tendo em vista as preocupações de preservação patrimonial que possam estar envolvidas.

Os modelos de torres de vento examinados neste trabalho foram anteriormente avaliados e apresentaram bom desempenho qualitativo na introdução da ventilação natural. Buscou-se, no âmbito deste estudo, investigar o desempenho destas mesmas torres atuando como dutos de luz natural.

Apesar de algumas limitações da geometria analisada, os resultados indicaram que o uso das torres de vento em ambientes enclausurados apresenta bom potencial para aproveitamento da luz natural dependendo de seu dimensionamento e configuração. Os modelos de torre com a presença de um defletor interno permitiram inter-reflexões no interior do ambiente deixando a iluminação melhor distribuída. Com a avaliação do comportamento da luz natural através da medida dinâmica, foi possível identificar as diferenças nos resultados da iluminação natural entre os modelos com diferentes características e identificar a área do ambiente que apresenta determinada autonomia da luz natural.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT (1992). **NBR-5413 Iluminância de Interiores**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 13p.
- BAHADORI, M. N. **Viability of wind towers in achieving summer comfort in the hot arid regions of the Middle East**. In: Proceedings of the third world renewable energy congress, Reading, UK, 11–16 September, 1994. p. 879–92.
- BARROSO-KRAUSE,C. et al. **Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social**. Caderno Mcidades 9; Ministério das Cidades/Ministério de Minas e Energia, Brasil, 2005.
- CHANDRA, S. Ventilative cooling. In: COOK, J. (Ed.) **Passive cooling**. Cambridge: MIT, 1989.
- FATHY, H. **Natural energy and vernacular architecture: Principles and examples with reference to hot arid climates**. Londres: The Chicago University Press Ltd., 1986.
- GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v.18, n.1, p. 11 – 23, 1992.
- _____. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: Van Nostrand Reinhold publishing company, 1994.
- KOENIGSBERGER, O. H., et al. **Viviendas y edificios en zonas calidas y tropicales**. Trad. Emilio R. Rios. Madri: Paraninfo, 1977.
- MARTINS, T. A. L.; BITTENCOURT, L. S.; BASTOS, L. E. G.; BARROSO-KRAUSE, C.; PASSOS, I. Uso de Torres de Vento em Edificações Residenciais Geminadas de Meia-morada. In: **Anais ENCAC**. Natal-RN, 2009.
- REINHART, C. F.; MORRISON, M. The lightswitch wizard – reliable daylight simulations for initial design investigation. In: **Buildings Simulation**, 2003, Eindhoven, The Netherlands. **Proceedings...** Eindhoven: BS, 2003. Vol. III. p.1093-1100.
- REIS FILHO, Nestor G. **O Quadro da Arquitetura no Brasil**. São Paulo: Perspectiva, 2004.
- SILVA, M. A. **Arquitetura moderna: a atitude alagoana**. Maceió: SERGASA, 1991.