

Solange Maria Leder
Barbara Lumy Noda Nogueira
Amanda Vieira Pessoa Lima

Organizadoras

ARQUITETURA E CONFORTO AMBIENTAL NOS TRÓPICOS

Coletânea de estudos e pesquisas
do LabCon UFPB de 2009 a 2018

EU Editora
UFPB

**ARQUITETURA E
CONFORTO AMBIENTAL NOS TRÓPICOS:**

Coletânea de estudos e pesquisas do LabCon – UFPB de 2009 a 2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Reitora	MARGARETH DE FÁTIMA FORMIGA MELO DINIZ
Vice-Reitora	BERNARDINA MARIA JUVENAL FREIRE DE OLIVEIRA
Pró-Reitora PRPG	MARIA LUIZA PEREIRA DE ALENCAR MAYER FEITOSA



EDITORIA DA UFPB

Diretora	IZABEL FRANÇA DE LIMA
Supervisão de Administração	GEISA FABIANE FERREIRA CAVALCANTE
Supervisão de Editoração	ALMIR CORREIA DE VASCONCELLOS JUNIOR
Supervisão de Produção	JOSÉ AUGUSTO DOS SANTOS FILHO

CONSELHO EDITORIAL

ADAILSON PEREIRA DE SOUZA (Ciências Agrárias)
ELIANA VASCONCELOS DA SILVA ESVAEL (Linguística, Letras E Artes)
FABIANA SENA DA SILVA (Interdisciplinar)
GISELE ROCHA CÔRTEZ (Ciências Sociais Aplicadas)
ILDA ANTONIETA SALATA TOSCANO (Ciências Exatas e da Terra)
LUANA RODRIGUES DE ALMEIDA (Ciências da Saúde)
MARIA DE LOURDES BARRETO GOMES (Engenharias)
MARIA PATRÍCIA LOPES GOLDFARB (Ciências Humanas)
MARIA REGINA VASCONCELOS BARBOSA (Ciências Biológicas)

Solange Maria Leder
Barbara Lumy Noda Nogueira
Amanda Vieira Pessoa Lima
Organizadoras

ARQUITETURA E
CONFORTO AMBIENTAL NOS TRÓPICOS:
Coletânea de estudos e pesquisas do LabCon – UFPB de 2009 a 2018

Editora UFPB
João Pessoa
2019

Direitos autorais 2019 - Editora da UFPB
Efetuado o Depósito Legal na Biblioteca Nacional, conforme a Lei nº 10.994, de 14 de dezembro de 2004.

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS À EDITORA DA UFPB

É proibida a reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio. A violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610/1998) é crime estabelecido no artigo 184 do Código Penal.

O conteúdo desta publicação é de inteira responsabilidade do autor.

Impresso no Brasil. Printed in Brazil.

Projeto Gráfico Editora da UFPB
Editoração Eletrônica e Emmanuel Luna
Design da Capa

Catlogação na fonte:
Biblioteca Central da Universidade Federal da Paraíba

A772 Arquitetura e conforto ambiental nos trópicos : coletânea de estudos e pesquisas do LabCon - UFPB de 2009 a 2018 / Solange Maria Leder, Barbara Lumy Noda Nogueira, Amanda Vieira Pessoa Lima (organizadores). - João Pessoa : Editora UFPB, 2019.
191 p. : il.
ISBN: 978-85-237-1442-0

1. Arquitetura. 2. Edificações residenciais. 3. Arquitetura sustentável. I. Leder, Solange Maria. II. Nogueira, Barbara Lumy Noda. III. Lima, Amanda Vieira Pessoa. IV. Título.

UFPB/BC

CDU 72

EDITORA DA UFPB Cidade Universitária, Campus I - s/n
João Pessoa - PB
CEP 58.051-970
www.editora.ufpb.br
editora@ufpb.br
Fone: (83) 3216.7147

Editora filiada à:



Livro aprovado para publicação através do Edital Nº 5/2018-2019, financiado pelo Programa de Apoio a Produção Científica - Pró-Publicação de Livros da Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal da Paraíba.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
<i>Solange Maria Leder</i>	

CAPÍTULO 1

Conforto térmico e percepção dos usuários em escritórios condicionados artificialmente e ventilados naturalmente no contexto do clima quente e úmido.....	11
--	-----------

Barbara Lumy Noda Nogueira

Amanda Vieira Pessoa Lima

Natália Luna da Silva

Milena Sá Braga

Carolina Ramos Lima

Solange Maria Leder

CAPÍTULO 2

A influência do comportamento do usuário em habitações de interesse social em clima quente e úmido	39
---	-----------

Andréia Cardoso de Oliveira

Solange Maria Leder

Celina Maria G. S. P. Leão

CAPÍTULO 3

Redução da carga térmica através de resfriamento convectivo noturno no clima quente e úmido e no semiárido.....	61
--	-----------

Mayara Cynthia Brasileiro de Sousa

Luana Maria de Medeiros Quirino

Solange Maria Leder

CAPÍTULO 4

Aberturas para a educação: proposta de um sistema de captação de luz e ventilação natural em salas de aulas93

Luana Maria de Medeiros Quirino

Yasmin Vaz Cavalcanti Pereira

Solange Maria Leder

CAPÍTULO 5

Análise do ofuscamento e dos níveis de iluminação natural em um modelo de escritório a partir da inserção de elementos de proteção solar115

Ana Gabriela Lima Alves de Oliveira

Solange Maria Leder

CAPÍTULO 6

Percentual de abertura na fachada e tipos de fechamento no desempenho térmico e lumínico da edificação141

Andréia Cardoso de Oliveira

Eliana de Fátima Costa Lima

Lilianne de Queiroz Leal

Solange Maria Leder

Solange Virginia Galarca Goulart

CAPÍTULO 7

Desempenho energético de edificações residenciais multipavimentos em João Pessoa-PB.....169

Lúcia Helena Aires Martins

Solange Maria Leder

Luiz Bueno Silva

Erivaldo Lopes de Souza

SOBRE OS AUTORES 187

APRESENTAÇÃO

Solange Maria Leder

A complexidade da arquitetura reside no acolhimento de todas as exigências que cercam o indivíduo: aspectos físicos, funcionais, estéticos, econômicos, sociais e culturais devem ser igualmente considerados. O conforto e a qualidade ambiental, como parte dessa complexidade, comparecem associados a problemáticas como a saúde, o desenvolvimento sustentável e o consumo de energia.

Objetivando contribuir nesse campo do conhecimento, especialmente considerando as especificidades do clima tropical, o Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon/UFPB) foi criado em 2009, vinculado ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. Nesses 10 anos de existência o LabCon/UFPB abriga atividades de ensino, pesquisa e extensão nas temáticas ligadas à arquitetura e ao conforto ambiental, sobretudo conforto térmico e lumínico, agregando professores e alunos de graduação e pós-graduação. Com esta publicação comemoramos esta primeira década de trabalho.

O bem-estar, mais do que desejável, é uma condição indispensável à saúde individual e coletiva. A Organização Mundial da Saúde (OMS) considera que a saúde não é somente a ausência de afecções e enfermidades, mas um estado de completo bem-estar físico, mental e social. Globalmente, estima-se que um percentual significativo de óbitos resulta de fatores ambientais. Estudos apontam que a permanência prolongada das pessoas

em espaços internos está relacionada a diversos problemas de saúde, em função da chamada “Síndrome do Edifício Doente” (*Sick Building Syndrome* - SBS), definida pela OMS como um conjunto de doenças causadas ou estimuladas pela má qualidade do ar em espaços fechados, que ocorre frequentemente em locais com ventilação inadequada e a ausência da luz natural e da luz solar direta.

O conforto térmico não se limita a uma simples relação de satisfação com a temperatura, ele alcança uma dimensão indissolivelmente relacionada com a saúde. Os sistemas de climatização e iluminação artificiais nem sempre atendem plenamente as exigências de conforto humano, implicam em elevados custos de manutenção e outros problemas. Edifícios com uso intensivo de ar-condicionado tendem a desenvolver nas pessoas os sintomas da “Síndrome do edifício doente”. Reclamações dos usuários, especialmente em relação ao nível de ventilação e à má qualidade do ar interno, são associadas à ocorrência de doenças respiratórias e outros problemas de saúde, principalmente devido à ausência de limpeza e de manutenção dos componentes dos sistemas de ar-condicionado. A exposição prolongada ao condicionamento artificial também resulta na diminuição expressiva dos limites de tolerância às temperaturas consideradas desconfortáveis. Além disso, o uso de ar-condicionado contribui com o efeito estufa e o consequente aumento da temperatura nos centros urbanos.

Estudos recentes também indicam que o bem-estar das pessoas depende do contato com a luz natural. A importância da luz na vida humana extrapola os limites da visão: funções biológicas, hormonais e psicológicas cruciais para a vida são coordenadas por ciclos regulados pela luz do dia. A iluminação natural em espaços internos tem sido associada à redução das faltas ao trabalho, à diminuição da fadiga e da depressão. O contato com a luz natural é decisivo na produção de vitamina D. Esse

contato contribui para melhorar o humor, a atenção, o desempenho cognitivo e físico, e a qualidade do sono. O desempenho visual e conforto lumínico podem ser fortemente influenciados por melhorias perceptivas (como melhorias na acuidade visual), que não são associadas meramente a parâmetros físicos, mas também à sensação e à percepção de bem-estar.

Decisões arquitetônicas adequadas, favorecendo o aproveitamento dos recursos naturais, potencializando as vantagens do clima e minimizando suas desvantagens, além de propiciar maior conforto aos usuários, podem reduzir o consumo de energia. Grande parte da energia consumida nas edificações deve-se a demandas de conforto, como os sistemas de iluminação artificial, climatização e aquecimento de água. Especialmente em função das inovações tecnológicas, edifícios que não aproveitam o potencial gratuito dos recursos naturais tornaram-se recorrentes. Na arquitetura adaptada ao clima e, portanto, sustentável, o potencial climático local é utilizado para alcançar condições de conforto sem a utilização excessiva de energia, seja esta renovável ou não.

O conjunto de capítulos que compõem esta produção traz algumas reflexões e investigações sobre conforto, qualidade ambiental e desempenho da edificação, desenvolvidas no LabCon/UFPB. Desejamos que esta publicação venha a contribuir para o aprimoramento da arquitetura no clima tropical.

Agradecemos especialmente à CAPES, ao Cnpq e à UFPB pelo suporte às pesquisas realizadas, através de bolsas de Iniciação científica, mestrado e doutorado. Também agradecemos a todos os colaboradores, alunos e ex-alunos, que contribuíram e contribuem para a existência do LabCon/UFPB, cujo parte do trabalho está aqui apresentada.

Conforto térmico e percepção dos usuários em escritórios condicionados artificialmente e ventilados naturalmente no contexto do clima quente e úmido

Barbara Lumy Noda Nogueira

Amanda Vieira Pessoa Lima

Natália Luna da Silva

Milena Sá Braga

Carolina Ramos Lima

Solange Maria Leder

1 INTRODUÇÃO

Apesar da representatividade dos edifícios no consumo energético e o crescente incentivo das políticas públicas na adoção da eficiência energética nas edificações, a promoção do conforto térmico para os usuários dos edifícios por meio de climatização artificial, em detrimento da utilização da ventilação natural, é uma prática cada vez mais frequente, especialmente nos centros urbanos. Segundo Corbella e Yannas (2009) o consumo de energia necessário para a obtenção do conforto térmico através de sistemas artificiais não era considerado um problema enquanto o custo da energia era irrisório. Em um panorama atual, no qual a sociedade visualiza o potencial esgotamento das principais fontes de energia, prover os ambientes internos com conforto térmico, aliado ao desempenho energético da edificação, apresenta-se como desafio.

Fanger, em 1972, apontou que o crescimento da mecanização e a industrialização resultaram no fato de uma considerável quantidade de pessoas passarem a maior parte das suas vidas (muitas vezes mais de 95%) em condições climáticas artificiais. Passados quase cinco décadas dessa constatação, a realidade parece pouco alterada: a climatização artificial está presente nas residências, nos ambientes comerciais, nos ambientes de trabalho, nos ambientes de lazer, nos meios de transportes.

Os edifícios de escritórios representam parcela significativa das edificações nas grandes metrópoles e cidades brasileiras. De acordo com Somekh (2014), esta situação está ligada ao fato de que as grandes cidades têm, em sua maioria, a economia voltada a atividades do setor terciário, serviços e comércio, cuja principal dinâmica é realizada nesses ambientes. De acordo com Wagner et al. (2007), questões de conforto ainda não desempenham um papel importante na operação do dia-a-dia de edifícios comerciais. No entanto, em ambientes de trabalho a qualidade local afeta, além da saúde, a produtividade, tendo um impacto significativo no desempenho das atividades (CHOI et al., 2012). Newsham et al. (2009) afirmam que melhores condições do ambiente interno elevam a satisfação no trabalho e outros aspectos relacionados à produtividade organizacional.

Ao realizar estudo comparativo entre edifícios convencionais e edifícios certificados energeticamente, Newsham, et al. (2013) identificaram o maior desempenho destes últimos, ao considerar os índices de satisfação dos usuários com o ambiente quanto às condições térmicas e ao menor incômodo proveniente da ventilação e ruídos do ar-condicionado, entre outros aspectos. Apesar disso, tem sido demonstrado que os edifícios comerciais modernos, com suas condições de conforto homogêneas, e muitas vezes tecnicamente acertadas, são particularmente problemáticos quanto à sensibilidade humana (BEHLING, 2002).

Nas regiões de clima quente úmido a ventilação natural é a estratégia mais simples para promover o conforto térmico quando a temperatura

interna se torna elevada (FROTA e SCHIFFER, 2001). As estratégias de condicionamento térmico passivo incluem a adoção de ventilação cruzada permanente, sombreamento das aberturas e desumidificação do ambiente interno. Sabe-se que o calor e a umidade são as principais questões a serem levadas em consideração para a promoção do conforto neste clima. Para Jones e West (2001), um dos principais benefícios, ao se minimizar diretamente o uso de sistemas de ventilação mecânica e ar-condicionado, é a redução do consumo de energia, no entanto, verifica-se que a utilização de ar-condicionado, em detrimento do uso da ventilação natural, é uma prática reincidente. De Vechi, Cândido e Lamberts (2016) afirmam existir uma crescente tendência de edificações comerciais que utilizam o condicionamento artificial como forma de promover condições de conforto térmico. Além disso, a exposição prolongada a ambientes condicionados artificialmente tende a causar impacto nos votos de aceitabilidade e preferência térmica dos usuários.

Os estudos de conforto térmico, por sua vez, visam estabelecer métodos de avaliação de um ambiente para que ele seja adequado às atividades desenvolvidas, tendo como princípios básicos a busca da satisfação térmica do homem, o aumento de sua produtividade e a conservação de energia (VERGARA, 2001). A partir desses questionamentos o presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de identificar as condições térmicas de ambientes de escritórios naturalmente ventilados e climatizados artificialmente, no contexto de uma cidade com clima quente úmido, bem como a percepção e satisfação dos seus usuários sob essas condições.

A pesquisa consistiu no estudo de caso de 13 ambientes utilizados como escritório de trabalho – de uso institucional ou particular – sendo cinco deles ventilados naturalmente e oito com utilização de ar-condicionado, durante dez dias ininterruptos no mês de novembro de 2015, na cidade de João Pessoa-PB. Foi realizada uma análise descritiva a partir do diagnóstico do desempenho térmico dos ambientes analisados, obtido através de dados quantitativos, com

a realização de medições térmicas, e dados qualitativos, através da aplicação de questionários com os usuários durante a jornada de trabalho.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo é baseado na metodologia utilizada por estudos de campo no segmento do conforto térmico (CHOI et al., 2012; RUPP et al., 2017; NEWSHAM et al., 2009; WAGNER et al., 2007), caracterizada pela simultaneidade nos procedimentos de monitoramento e registro das variáveis ambientais (temperatura do ar e umidade relativa) e preenchimento de questionários entre ocupantes dos ambientes investigados (sensação, preferência e aceitabilidade térmica e do movimento do ar).

Os dados desta pesquisa foram coletados em campo no período de 20 a 29 de novembro de 2015, simultaneamente nos 13 ambientes de trabalho em edificações distintas, distribuídos em nove bairros de João Pessoa-PB (7,11°S; 34,86°O), município localizado na costa litorânea do Nordeste do Brasil e caracterizado por um clima tropical úmido, conforme a Classificação Climática de Köppen. No ano de 2015 apresentou temperatura média anual de 25,84°C; amplitude térmica de 3,02°C; e umidade relativa média de 75,92%.

A seleção de ambientes investigados seguiu primordialmente o seguinte critério: ambientes de trabalho (privado ou institucional), nos quais fossem desempenhados pelos trabalhadores atividade metabólica sedentária ou leve (atividade de escritório)¹ e que fizessem uso da ventilação natural ou de sistema de ar-condicionado para climatização do ambiente interno. Ainda, inicialmente foram estabelecidos critérios de semelhança na seleção dos espaços, a saber: tipologia arquitetônica e área; densidade de

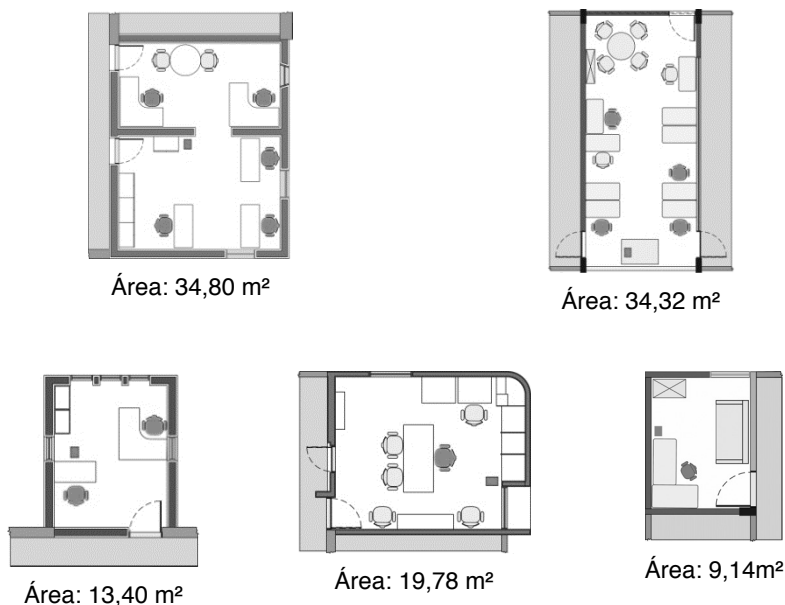
1 De acordo com as tabelas de valores propostos pela ASHRAE – 55 (2013).

usuários; horário de funcionamento, orientação das aberturas; superfícies com incidência de radiação solar direta; localização do ambiente na edificação (preferencialmente não situado no último pavimento).

Numa fase exploratória inicial foram levantados registros dos ambientes, como dimensões, caracterização volumétrica, caracterização das envoltórias, esquadrias, quantidade de ocupantes e equipamentos utilizados, que subsidiaram – além da seleção definitiva da amostra – a determinação dos dias disponíveis para coleta de dados e do local exato para instalação dos equipamentos.

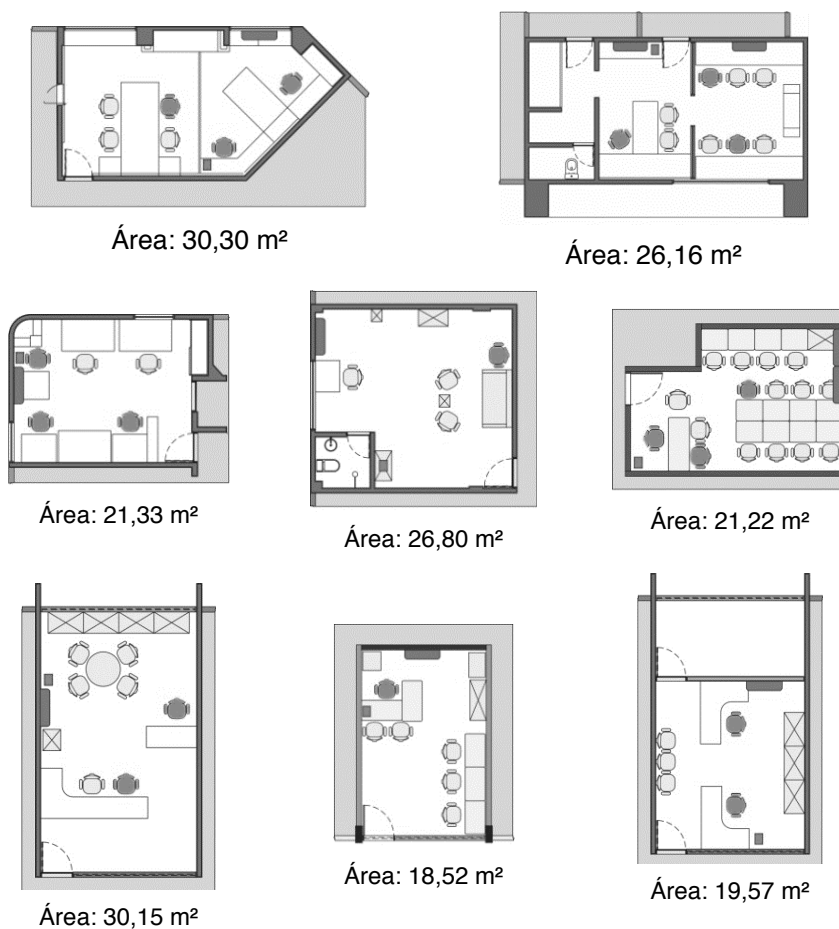
Dos ambientes, cinco utilizam a ventilação natural como único meio de climatização do ambiente interno (Figura 1) e oito deles são condicionados artificialmente (Figura 2). Possuem área entre 9,14m² e 34,80 m² e densidade de ocupação entre 1,63 a 13,4 usuários por m².

Figura 1 – Layout dos ambientes estudados – naturalmente ventilados



Fonte: Adaptado de Noda, et al. (2015)

Figura 2 – Layout dos ambientes estudados – climatizados



Fonte: Adaptado de Noda, et al. (2015)

Outras características variaram entre os 13 casos, como a localização e dimensões das aberturas, e a orientação da alvenaria limítrofe pertencente à envoltória do edifício. Têm-se três caracterizações urbanas distintas do entorno imediato dos objetos de estudo: proximidade ao litoral – caracterizado pela maior intensidade de ventilação natural;

proximidade a áreas verdes e um adensado centro urbano – caracterizado pela proximidade de vias com intenso tráfego de veículos.

Destaca-se que o uso recorrente de ar-condicionado em ambientes de trabalho é percebido pela dificuldade de encontrar escritórios que não façam uso deste no condicionamento térmico, o que se reflete no menor número de ambientes naturalmente ventilados em relação aos climatizados nesse estudo.

2.1 Instrumentação

As medições térmicas foram realizadas nos 13 ambientes simultaneamente, com *dataloggers* Hobo U10 e U12 (Tabela 1), instalados nos ambientes internos (uma unidade por ambiente) que registraram, com frequência de 30 minutos, entre os dias 20/11/2015 e 29/11/2015, as variáveis: temperatura do ar e umidade relativa. Os *dataloggers* foram fixados sobre tripé e posicionados a uma altura de 90 cm em relação ao nível do piso, que corresponde à altura do tórax do usuário sentado (Figura 3). Priorizou-se a localização, em cada um dos ambientes, o mais próximo possível do local de permanência de um usuário e o mais distante possível de fontes de calor – tanto de equipamentos quanto de superfícies de alvenaria com radiação solar incidente.

Tabela 1 - Faixa de precisão da Instrumentação

EQUIPAMENTO	GRANDEZA	FAIXA DE MEDIÇÃO	PRECISÃO	TEMPO DE RESPOSTA
Datalogger Hobo U10 e Hobo U12	Temperatura do ar (t_a)	-20°C a 70°C	± 0,53°C de 0°C a 50°C	6 min.
	Umidade relativa (UR)	5% a 95%	± 2,5°C de 10% a 90%	1 min.

Do mesmo período em que foram registrados os dados dos ambientes internos, procedeu-se à coleta de registros oficiais das mesmas variáveis do ambiente externo, procedentes de estação meteorológica automática localizada na região metropolitana da cidade. Uma vez que as variáveis do ambiente externo são registradas em horas inteiras, optou-se por também seguir esta frequência na análise dos resultados obtidos com as medições internas.

Figura 3 – Equipamento *datalogger* Hobo, fixado sobre tripé para o registro das variáveis térmicas



2.2 Aplicação de questionário

As informações sobre o perfil dos trabalhadores – e suas respectivas respostas sobre a sensação e preferência térmica – foram obtidas por meio de questionários aplicados entre aqueles trabalhadores que concordaram com a participação no estudo, na condição de estarem no desempenho de suas atividades típicas durante intervalo da coleta dos dados térmicos nos ambientes estudados.

Baseado na ASHRAE-55 (ASHRAE, 2013), o questionário contou com perguntas sobre dados pessoais e a atividade desempenhada

pelo trabalhador (Tabela 2) e sobre sensação térmica e preferência térmica (Tabela 3), cuja discussão das respostas adotou o método proposto por Fanger (1972), utilizando a escala de sete pontos, variando de +3 (muito calor) à -3 (muito frio), sendo o zero (neutro) o indicador do estado de conforto.

Tabela 2 – Enunciados e alternativas de respostas das questões sobre dados pessoais e atividade

ENUNCIADO	ALTERNATIVAS
<i>Gênero</i>	• <i>Feminino</i> • <i>Masculino</i>
<i>Idade</i>	• 0-20 • 21-30 • 31-40 • 41-50 • 51-60 • + 60
<i>Vestimenta</i>	<i>Elementos de vestimenta típicos, subdivididos pelos grupos: cabeça, corpo, perna, pés.</i>
<i>Você é natural de João Pessoa?</i>	• <i>Sim</i> • <i>Não / De onde?</i>
<i>Você está em João Pessoa há mais de 6 meses?</i>	• <i>Sim</i> • <i>Não / Há quanto tempo?</i>
<i>Nos últimos 15 minutos você estava em um espaço com ar-condicionado? (incluindo carro ou outro veículo climatizado)</i>	• <i>Sim</i> • <i>Não</i>
<i>O que você estava fazendo nos últimos 15 minutos?</i>	• <i>Sentado,</i> • <i>De pé, parado,</i> • <i>De pé, fazendo alguma atividade,</i> • <i>Caminhando (sol ou sombra),</i> • <i>Dirigindo,</i> • <i>Correndo/jogando,</i> • <i>Outra</i>

Tabela 3 – Enunciados e alternativas de respostas das questões sobre sensação e preferência térmica.

ENUNCIADO	ALTERNATIVAS
<i>Como você está se sentindo em relação ao calor?</i>	• Muito calor • Calor • Um pouco de calor • Neutro (nem frio, nem calor = confortável) • Um pouco de frio • Frio • Muito frio
<i>Como você se sente em relação à ventilação?</i>	• Parado completamente • Insuficiente • Pouco ventilado • Ventilado (confortável) • Ventando levemente (quase demais) • Ventando (em excesso) • Ventando muito (muito desconfortável, vento gelado)
<i>Em termos gerais, como você se sente em relação a esse espaço?</i>	• Confortável • Um pouco desconfortável • Desconfortável • Muito desconfortável
<i>Nesse momento, você preferiria que estivesse?</i>	• Muito mais calor • Mais calor • Um pouco mais de calor • Sem mudanças - fica como está • Um pouco mais de frio • Mais frio • Muito mais frio

3 RESULTADOS

3.1 Variáveis ambientais

A Tabela 4 apresenta um resumo das condições térmicas (temperatura do ar e umidade relativa) registradas nos ambientes internos durante o estudo de campo, ao longo dos dias úteis (segunda-feira a sexta-feira) e horário comercial (08:00h às 18:00h). Os valores médio e máximo-da

temperatura do ar nos ambientes naturalmente ventilados (média 28,55°C, máxima 30,46°C) e climatizados (média 27,25°C, máxima 32,18°C) não demonstram, a princípio, significantes divergências. No entanto, destacam-se as oscilações desses resultados e a temperatura do ar mínima de 20,71°C registrada em ambiente climatizado – valor abaixo dos parâmetros de conforto estipulados pela NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado que determina como confortável, na estação verão, o intervalo da temperatura operativa entre 22,5°C a 25,5°C / umidade relativa de 65% (ABNT, 2008),

A Figura 4 demonstra a variação das temperaturas registradas, a cada hora, nos ambientes naturalmente ventilados, das 12h00min do dia 20/11/2015 até as 16h00min do dia 29/11/2015, totalizando um intervalo de 10 dias. Sobre os resultados observou-se que nesses ambientes as temperaturas oscilaram, no período diurno entre 27°C e 30°C, e no período noturno entre 25,5°C e 29,85°C, correspondendo a uma amplitude térmica constante e inferior à observada no ambiente externo, cuja oscilação foi de 22,20°C a 31,50°C.

Tabela 4 - Resumo das variáveis térmicas internas durante dias úteis e horário comercial.

PARÂMETRO	Ambientes Ventilados		Ambientes Climatizados	
	Temp. do ar (°C)	Umidade Relativa (%)	Temp. do ar (°C)	Umidade Relativa (%)
Média	28,55	69,33	27,25	56,32
Desvio Padrão	0,82	5,17	2,39	9,33
Máxima	30,46	80,06	32,18	75,23
Mínima	26,21	54,22	20,71	33,46

Ainda na Figura 4, ao observar a evolução da temperatura média no período do estudo, percebe-se que o desempenho térmico dos ambientes

ventilados durante o final de semana (momento em que não foram utilizados por usuários) não apresentou diferenças em relação aos dias úteis, quando encontram-se em uso pelos trabalhadores. Além disso, a variação térmica no interior desses ambientes acompanhou a oscilação observada no meio externo, com temperaturas mais elevadas no período diurno e temperaturas mais baixas no período noturno.

Na Figura 5 são apresentados os registros da temperatura do ar nos ambientes com ar-condicionado, sobrepostos aos registros de temperatura do ambiente externo. Os diferentes horários de utilização do sistema de climatização são percebidos nas oscilações das temperaturas/horário, que atingiram de 21,2°C a 32,39°C no período diurno e de 20,70°C a 32,50°C no período noturno.

Alguns desses ambientes chegaram a atingir temperaturas máximas superiores às registradas no ambiente externo: alguns dos ambientes alcançaram 31,89°C; 32,25°C; 32,50°C e 31,88°C respectivamente, enquanto a máxima do ambiente externo foi de 31,50°C. Observa-se ainda, que no período noturno, quando o sistema de ar-condicionado está desligado, mesmo com o meio externo apresentando as temperaturas mais baixas, os ambientes mantêm temperaturas internas elevadas, similares às temperaturas externas durante o dia. Os elevados níveis de temperatura nesses ambientes são reincidentes e constantes durante o final de semana, quando permanecem fechados.

Ao se sobrepor os resultados médios das temperaturas registradas nos ambientes ventilados e climatizados (Figura 6), se evidenciam as diferenças no desempenho térmico dos espaços em função da solução adotada no condicionamento do ambiente as demandas de conforto. Enquanto aqueles naturalmente ventilados apresentam melhor desempenho térmico – resultado da adoção de estratégias arquitetônicas na adequação da edificação ao clima local, como a utilização de aberturas sombreadas e esquadrias vazadas que permitem perda de calor através da ventilação de maneira permanente – o isolamento dos ambientes e o acúmulo de calor na envoltória das edificações que utilizam o sistema artificial de climatização contribuem para a elevação da temperatura interna e, conseqüentemente, passam a exigir mais do sistema de ar-condicionado para a adequação das condições internas às necessidades de conforto dos usuários.

Figura 4 - Gráfico Temperatura do ar/hora nos ambientes naturalmente ventilados.

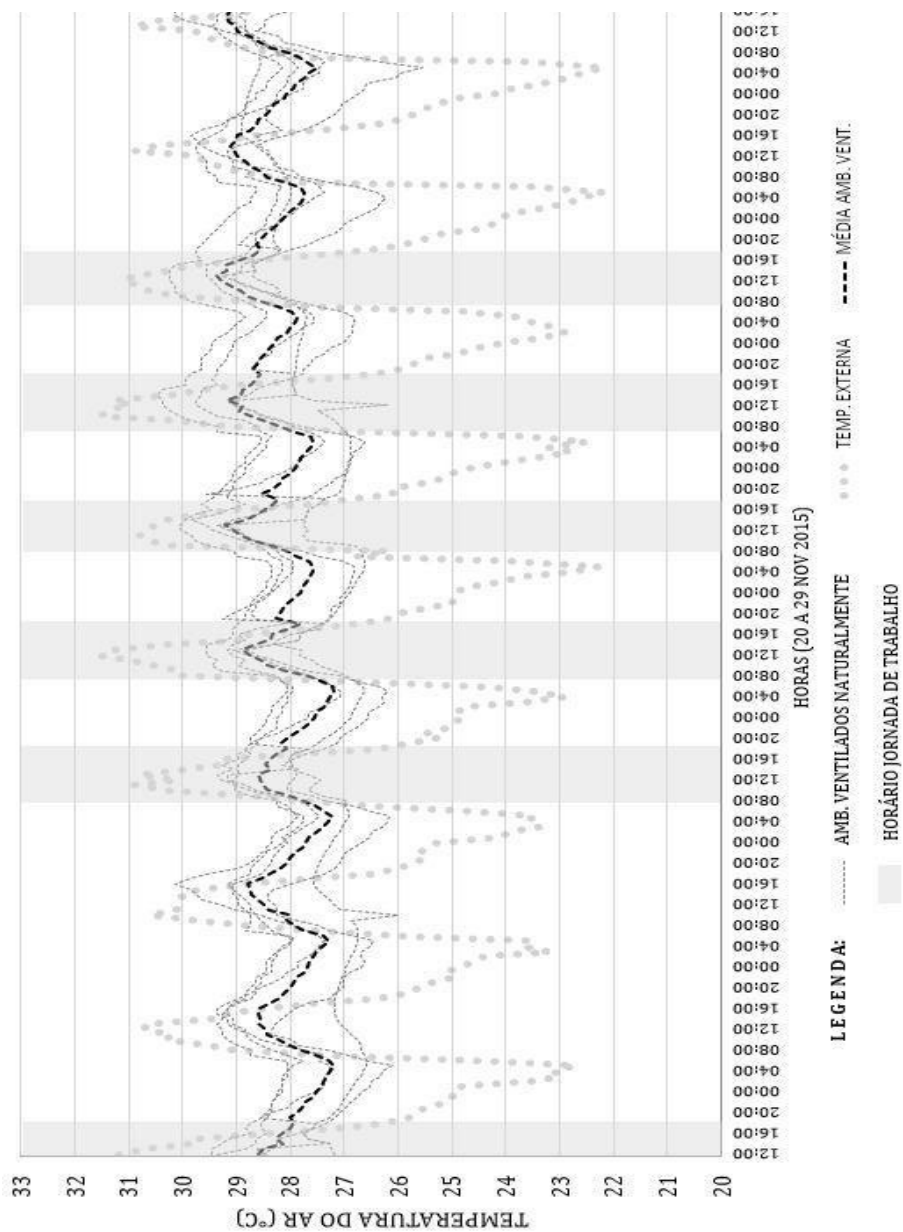


Figura 5 - Gráfico Temperatura do ar/hora nos ambientes climatizados.

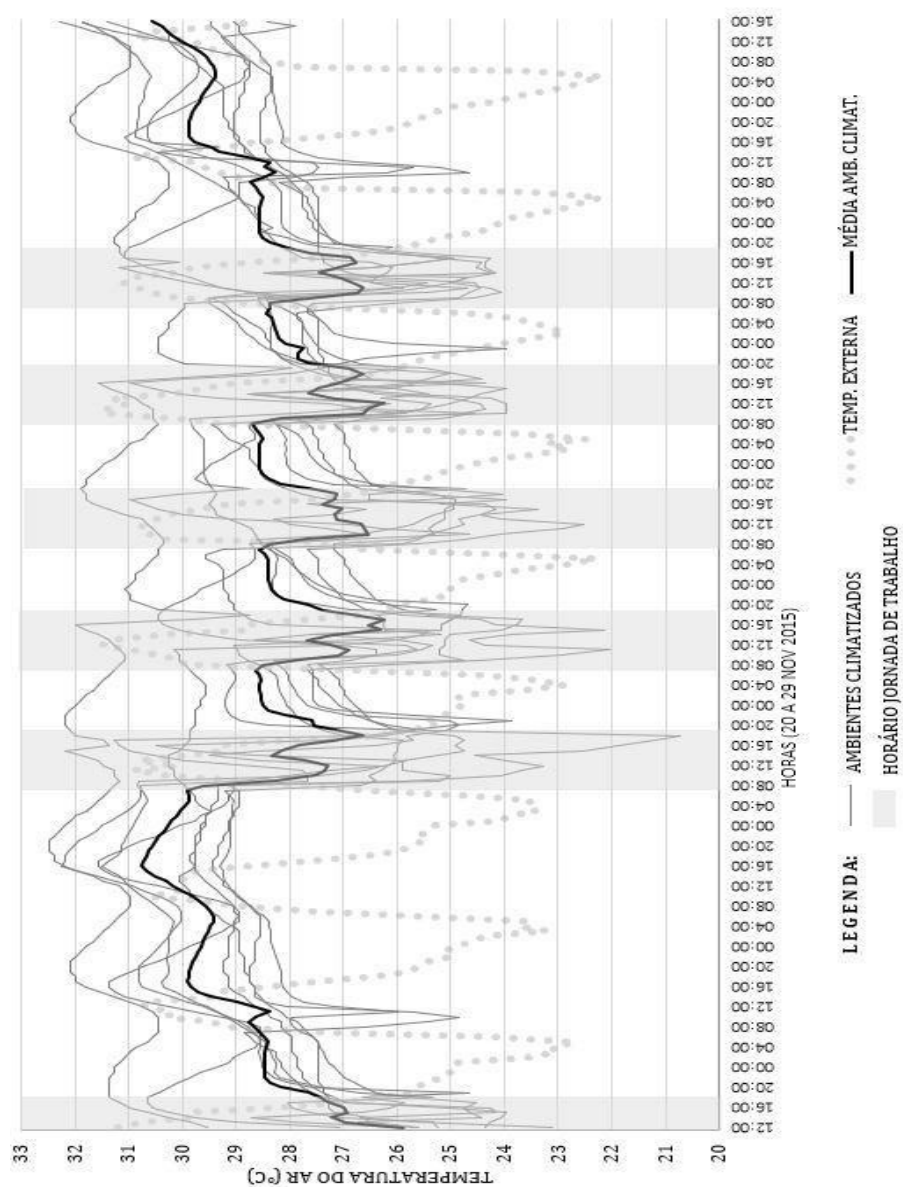
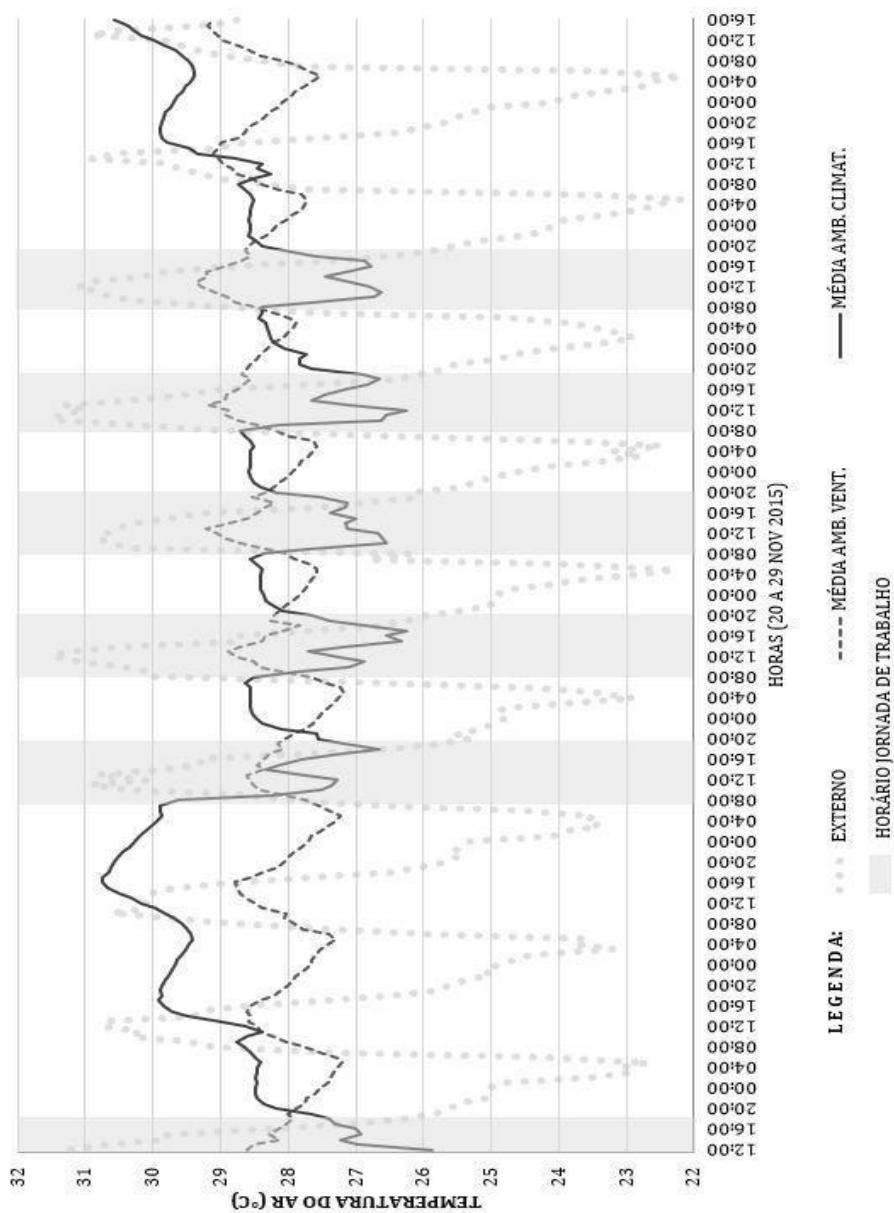


Figura 6 - Gráfico Temperatura/hora nos ambientes ventilados e climatizados com ar-condicionado.



3.2 Caracterização dos ocupantes

A partir das respostas obtidas nos questionários aplicados, pôde-se identificar o perfil dos trabalhadores participantes do estudo, conforme demonstrado na Tabela 5. Foram entrevistados 31 usuários, sendo 13 deles ocupantes dos ambientes naturalmente ventilados e 18 deles ocupantes dos ambientes que utilizam ar-condicionado. Por se tratar de ambientes com layout diversificado, procurou-se aplicar os questionários com usuários em atividade nos postos de trabalhos mais utilizados – o que muitas vezes corresponde à localização que mais se adequa às preferências térmicas individuais. Destacam-se a maioria dos participantes do gênero masculino (58%) e da predominância de trabalhadores na faixa etária de 21 a 30 anos, que totalizaram 71% (sendo 39% do gênero masculino e 32% do gênero feminino). Ainda, 58% dos entrevistados são naturais da cidade de João Pessoa - PB.

No tocante à vestimenta, predominou entre os usuários, a utilização de roupas que totalizam resistência térmica de 0,5 *clo*, que corresponde à um conjunto de camisa, calça e tênis – considerado como ‘vestimenta leve’ (LAMBERTS, 2014), adequada ao clima quente e úmido.

Tabela 5 -Perfil da população entrevistada

Gênero		Faixa etária				Naturalidade	
		21-30	31-40	41-50	51-60	João Pessoa	Outro
Masc.	58%	39%	6%	6%	3%	32%	26%
Fem.	42%	32%	6%	-	3%	26%	16%

3.3 Votos de sensação e preferência térmica

3.3.1 Ambientes naturalmente ventilados

Nos ambientes naturalmente ventilados, em relação à sensação térmica (Figura 7), enquanto 23,08% dos usuários indicaram estar em situação de conforto (neutro), 76,92% indicaram diferentes níveis relacionados ao calor, predominando entre os trabalhadores a sensação de *‘um pouco de calor’*, indicada por 38,46% deles; condição de desconforto por *‘calor’* para 7,69% dos ocupantes e a condição de *‘muito calor’* para 30,77% deles.

Quando questionados sobre como o trabalhador se sente em relação ao espaço de trabalho (Figura 8), 38,46% dos usuários consideraram os ambientes ventilados como *‘confortável’*, 38,46% julgaram *‘um pouco desconfortável’* e 23,08% como *‘desconfortável’*. A diferença entre os votos relacionados ao conforto (voto *‘neutro’*, 23,08% / voto *‘confortável’*, 38,46%) revela que há uma percepção maior de desconforto quando este é associado à temperatura.

Figura 7 - Votos dos usuários: sensação térmica nos ambientes naturalmente ventilados.

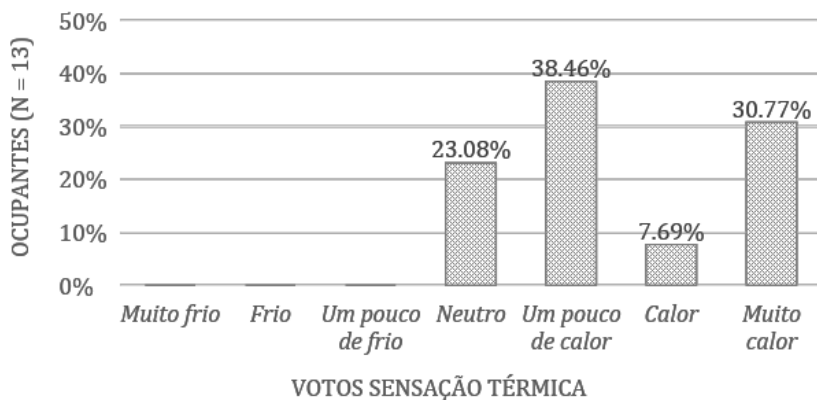
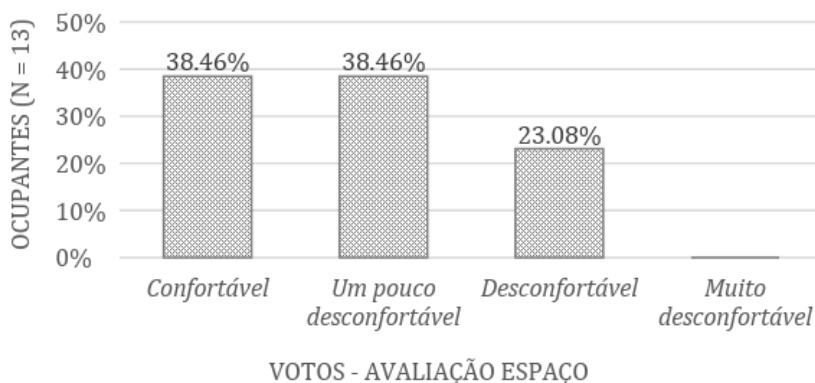


Figura 8 - Votos dos usuários: classificação dos ambientes naturalmente ventilados.



Conforme observado na Figura 9, a ventilação incidente foi considerada '*confortável*' para 15,38%, '*um pouco ventilado*' para 69,23% e '*insuficiente*' para 15,38% dos usuários. Dentre os entrevistados cuja percepção geral do espaço foi a de '*conforto*' (38,46% - conforme Figura 8), 40% deles relataram que a ventilação incidente estava '*confortável*' (ventilado) e 60% deles consideraram '*um pouco ventilado*'; o que sugere que melhores condições de ventilação natural estão relacionadas aos maiores índices de conforto.

No que diz respeito à preferência térmica dos usuários (Figura 10), enquanto 15,38% deles afirmaram que 'não gostariam de mudanças' na temperatura do ambiente naturalmente ventilado, o total de 84,61% dos trabalhadores gostaria que o ambiente tivesse temperaturas mais baixas, desses, 46,15% gostariam de '*um pouco mais de frio*'; 30,77% gostariam de '*mais frio*' e 7,69% prefeririam o ambiente '*muito mais frio*'. Relacionando esse resultado com os usuários que afirmaram estar em conforto nos ambientes ventilados (38,46% - conforme Figura 8), é possível afirmar que o desejo de mudança de temperatura não está necessariamente relacionado ao desconforto.

Figura 9 - Votos dos usuários: sensação de ventilação nos ambientes naturalmente ventilados.

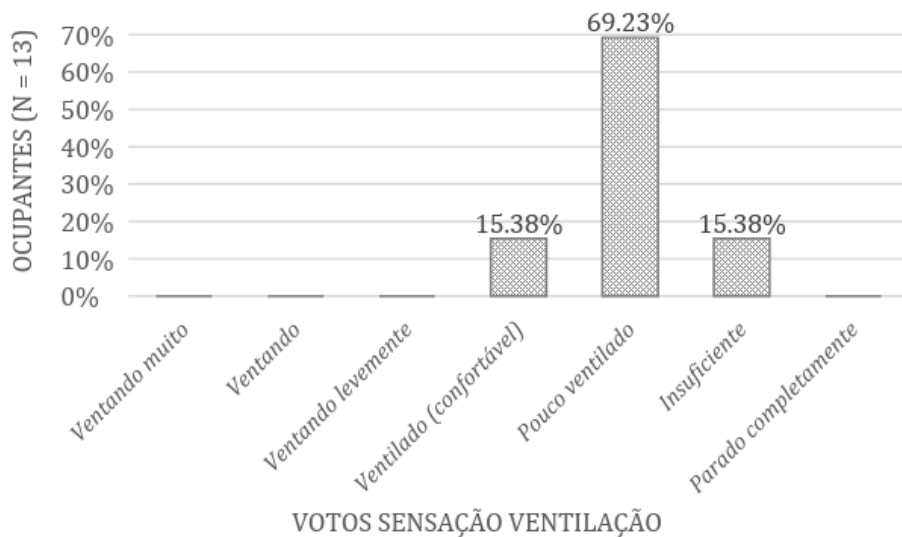
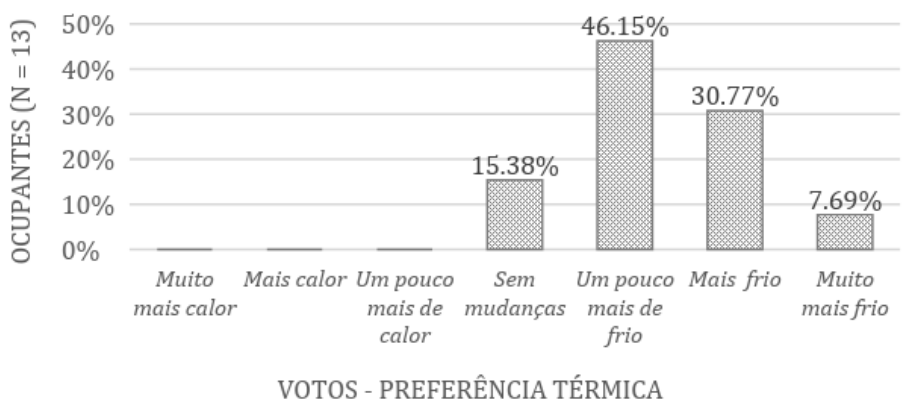


Figura 10 - Votos dos usuários: preferência térmica nos ambientes naturalmente ventilados.



3.3.2 Ambientes climatizados

Sobre a sensação térmica nos ambientes climatizados (Figura 11), 50% dos entrevistados relataram estar em situação de '*conforto*' (neutro), do restante, 5,56% declararam estar com '*um pouco de calor*' e 5,56% afirmaram estar com '*muito calor*', totalizando assim 11,11% dos trabalhadores em desconforto por calor; ao mesmo tempo, 33,33% dos entrevistados relataram estar com '*um pouco de frio*' e 5,56% afirmaram estar '*com frio*', o que resulta em um total de 38,89% pessoas com desconforto por frio. Mesmo com os usuários tendo a possibilidade de controle dos aparelhos para ajuste da temperatura interna, os votos de conforto não são absolutos ou unânimes.

Da mesma maneira que ocorreu nos ambientes ventilados, quando questionados a respeito da percepção do espaço (Figura 12), os usuários dos ambientes climatizados apontaram maior nível de conforto quando não se associa a temperatura: 66,67% afirmaram que os espaços climatizados são '*confortáveis*', 27,78% disseram que são '*um pouco desconfortável*' e 5,56% julgaram como '*desconfortável*'. O ar-condicionado, embora seja utilizado como dispositivo para a mitigação do desconforto por calor, apresenta-se como um segundo elemento gerador de desconforto. O desconforto por frio, portanto, advém de uma condição artificial e inesperada, e não decorrente do clima natural, uma vez que em climas quentes úmidos já é esperado o desconforto por calor.

Sobre a ventilação nos ambientes climatizados (Figura 13), 42,11% dos ocupantes a consideram '*confortável*' (ventilado), enquanto o total de 47,37% dos trabalhadores percebe essa variável como '*pouco ventilado*', '*insuficiente*' e '*parado completamente*'. Mesmo no ambiente com sistema de condicionamento artificial, o movimento do ar está diretamente relacionado à sensação de conforto dos ocupantes.

Figura 11 - Votos dos usuários: sensação térmica nos ambientes climatizados.

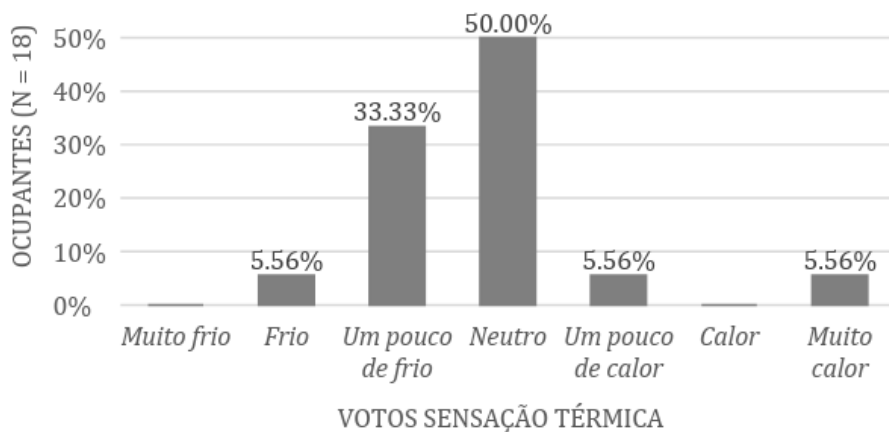


Figura 12 - Votos dos usuários: classificação dos ambientes climatizados.

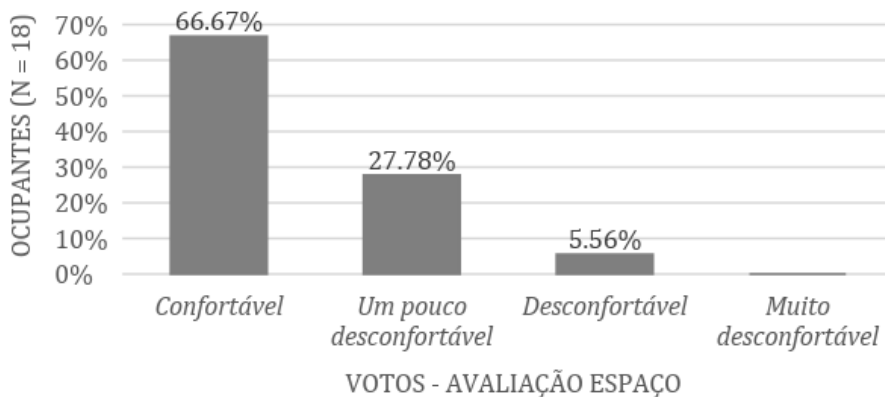
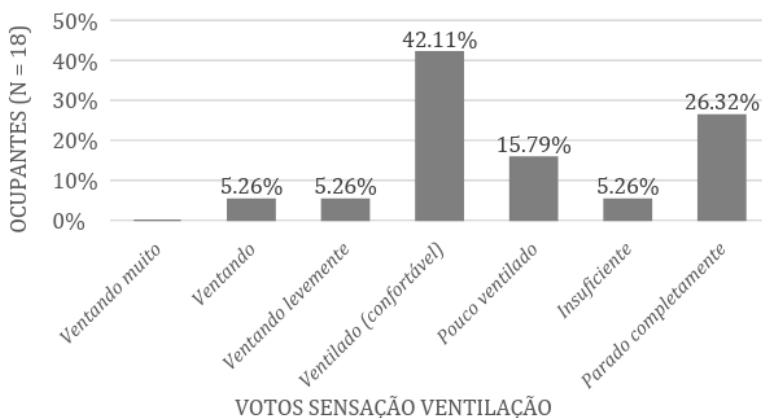


Figura 13 - Votos dos usuários: sensação de ventilação nos ambientes climatizados.



Ainda nos ambientes climatizados, embora 66,67% dos trabalhadores considerem o ambiente confortável (conforme Figura 12), é simultânea a preferência de 50% desses trabalhadores por mudanças na temperatura: tanto *‘um pouco mais de calor’* (27,78%) quanto *‘um pouco mais de frio’* (22,22%), conforme Figura 14, demonstrando a divergência da preferência entre ocupantes que convivem sob mesmo ambiente térmico.

Figura 14 - Votos dos usuários: preferência térmica nos ambientes climatizados.

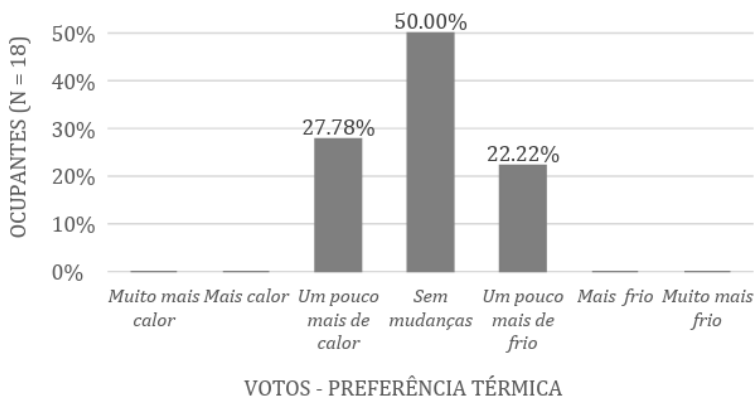
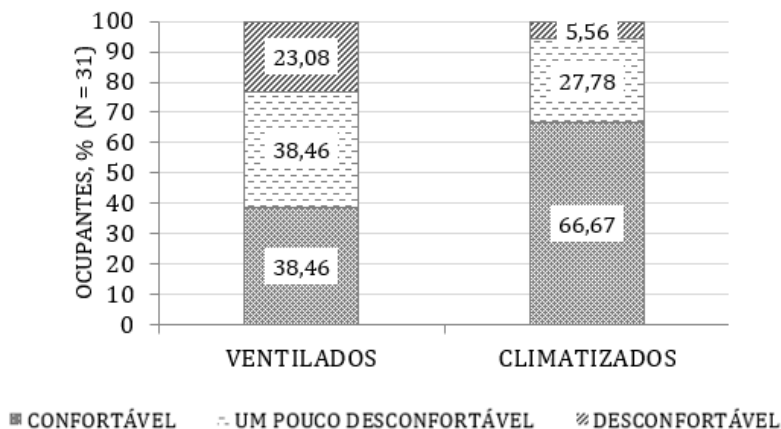


Figura 15 - Percepção dos usuários em relação aos ambientes ventilados e climatizados



4 CONCLUSÃO

Sobre os resultados, observou-se o desconforto atingindo 33,34% dos usuários nos ambientes condicionados artificialmente (Figura 15), sendo que 5,56% consideraram *‘desconfortável’* e 27,78% *‘um pouco desconfortável’*, um percentual elevado, tendo como base o limite de 10% de desconforto adotado nos índices PMV/PPD (FANGER, 1972). Destaca-se, ainda, que nos ambientes climatizados, 38,89% do desconforto é proveniente da sensação de frio (somatória dos votos *‘frio’* e *‘um pouco de frio’* – Figura 11). Em um clima onde o sistema artificial tem como principal objetivo neutralizar o desconforto por calor, o percentual de desconforto pelo frio demonstra dissonância entre as necessidades dos trabalhadores e o ajuste do sistema, muito embora, nos ambientes analisados, havia a possibilidade de adequações pelos próprios usuários.

Ainda sobre o percentual de desconforto nos ambientes climatizados, destaca-se a divergência na sensação do conforto térmico entre os entrevistados: simultâneo aos relatos de sensação de frio (38,89%) foi relatado desconforto por calor (11,11%) em temperatura semelhante. Este fato demonstra diferenças significativas na preferência térmica dos ocupantes e aponta para a hipótese do vício ao resfriamento artificial, causado pela exposição prolongada a ambientes condicionados artificialmente, sugerido por De Vecchi, Cândido e Lamberts (2016). Essa exposição, além de modificar a preferência com base na memória térmica do usuário, interfere na aceitabilidade e tolerância por temperaturas mais quentes, provocando uma dificuldade de se encontrar a neutralidade térmica e parâmetros de conforto. Kim et al. (2017) apontam ainda que, além das expectativas de conforto dos usuários das edificações não serem estáticas, elas estão se elevando de forma constante com o crescimento do poder aquisitivo da população.

Apesar do conhecimento já consolidado sobre as estratégias arquitetônicas bioclimáticas indicadas ao contexto do clima quente e úmido para melhoria do conforto térmico – como a adoção de ventilação cruzada permanente, sombreamento das aberturas e desumidificação do ambiente interno – verifica-se nas edificações a crescente adoção de soluções que replicam sistemas construtivos e tecnologias comumente utilizadas em outras localidades, mas que desconsideram as especificidades das condições climáticas locais.

Este estudo, apesar dos limites de sua abrangência - tanto em relação à amostragem investigada quanto ao período de coleta de dados - evidencia um cenário propício a estudos mais aprofundados, destacando-se a importância em reconhecer o papel dos ocupantes das edificações nas pesquisas sobre conforto térmico.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.
- ASHRAE. **Standard 55: thermal environmental conditions for human occupancy**. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, Georgia, 2013.
- BEHLING, Sophia y Stefan. **Sol power: La evolución de la arquitectura sostenible**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2002.
- CHOI, JOON-HO *et al.* **Post occupancy evaluation of 20 office buildings as basis for future IEQ standards and guide lines**. *Energy and Buildings*, v. 46, p. 167-175, 2012.
- CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simons. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Revan, 2009.
- DE VECCHI, R.; CÂNDIDO, C. M.; LAMBERTS, R. **Thermal history and comfort in a Brazilian subtropical climate: a 'cool' addiction hypothesis**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 7-20, jan./mar. 2016.
- FANGER, P.O. **Thermal Comfort: analysis and application in environmental engineering**. Nova Iorque: McGraw-Hill Book Company, 1972.
- FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli. **Manual de conforto bioclimático**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- JONES, J.; WEST, A.W. **Natural Ventilation and Collaborative Design**, *ASHRAE Journal*, p. 46-50, Novembro 2001.

KIM, J.; DE DEAR, R.; PARKINSON, T.; CANDIDO, C.
Understanding patterns of adaptive comfort behaviour in the Sydney mixed-mode residential context. Energy and Buildings, v. 141, p. 274-283, 2017.

LAMBERTS, Roberto, DUTRA, Luciano e PEREIRA, Fernando O.R.
Eficiência energética na arquitetura. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2014.

NEWSHAM, Guy et al. **Linking indoor environment conditions to job satisfaction: a field study.** Building Research & Information, Ottawa, v. 37, n. 2, p. 129-147, 2009.

NEWSHAM, Guy et al. **Do ‘green buildings have better indoor environments? New evidence.** Building Research & Information, Ottawa, v. 41, n. 4, p. 415-434, 2013.

NODA, Lumy et al. **Condições ambientais e percepção do conforto térmico: estudo de caso com trabalhadores de escritórios.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

RUPP, Ricardo F. et al. **Conforto térmico humano em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em clima subtropical úmido: estudos de campo.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 111-123, jan./mar. 2017.

SOMEKH, Nadia. **A cidade vertical e o urbanismo modernizador.** 2. ed. rev. São Paulo: Editora Mackenzie, Romano Guerra, 2014.

VERGARA, L. G. L. **Análise das condições de conforto térmico de trabalhadores da unidade de terapia intensiva do hospital universitário de Florianópolis.** 222f. Dissertação (Mestrado em

engenharia de produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

WAGNER, A. et al. **Thermal comfort and workplace occupant satisfaction – results of a field studies in German low energy office buildings**. Energy and Buildings, v. 39, p. 758-769, 2007.

A influência do comportamento do usuário em habitações de interesse social em clima quente e úmido

*Andréia Cardoso de Oliveira
Solange Maria Leder
Celina Maria G. S. P. Leão*

1 INTRODUÇÃO

Estudos que procuram identificar quais são os parâmetros que influenciam o desempenho térmico de habitações têm sido desenvolvidos há décadas, principalmente em edifícios de escritórios, em paralelo com discussões sobre a influência dos ocupantes nas condições de conforto no interior dos edifícios. Além disso, uma parte menor das pesquisas desenvolvidas é voltada às particularidades do desempenho térmico em edifícios residenciais, assim é o caso da presente pesquisa, que estuda o desempenho das habitações ventiladas naturalmente.

Dentro do contexto das ações dos ocupantes sobre o conforto no interior do edifício, diversas publicações têm demonstrado a variabilidade de resultados, entre as medições reais e os dados gerados a partir dos modelos de avaliação de desempenho por simulação, em função das ações dos ocupantes (ROETZEL et al., 2010; FABRI et al., 2012; ZANG E BARRET, 2012).

Sorgato (2015) comenta que a compreensão do comportamento dos usuários é um parâmetro importante para a concepção e a avaliação do desempenho das edificações ventiladas naturalmente, não sendo recomendado generalizar o comportamento do usuário, principalmente em condições climáticas diferentes. Diversos estudos foram publicados baseados em modelos estocásticos do comportamento dos ocupantes em relação ao controle do ambiente interno. No entanto, para obter uma previsão adequada sobre o desempenho térmico do edifício, é necessário incluir modelos realistas de interações dos ocupantes com os controles de aberturas, termostatos e proteção solar, entre outros (ADERSEN, FABI E CORGNATI, 2016).

Apesar de uma determinada habitação demonstrar um bom desempenho pela correta proporção de aberturas na fachada, o uso da ventilação natural pode ser afetado por estas aberturas, se elas permanecerem, a maior parte do tempo, fechadas. Influências externas como a presença ou não de grade nas janelas ou de fechamento do lote, a proximidade com edificações vizinhas e questões relativas à privacidade e segurança podem alterar o desempenho da edificação em condições reais. Diferenças significativas podem ocorrer em função dos diversos cenários de comportamento do usuário.

Outra questão que deve ser observada é a possibilidade de existência de variações nas rotinas dos ocupantes. Assim, é possível conceber uma família tradicional com alguns moradores que permanecem em casa e, portanto, controlam as trocas térmicas ao longo do dia; bem como uma família contemporânea, em que todos trabalham e estudam o dia todo, permanecendo em casa somente à noite. Neste cenário, a habitação passa o dia sem interação, resultando em uma carga térmica totalmente distinta do cenário anterior, apesar de possuir o mesmo padrão construtivo. Desta maneira, esta pesquisa tem como objetivo identificar

o comportamento de usuários de habitação de interesse social, a partir de uma avaliação das rotinas, práticas e hábitos de diferentes tipos de famílias em um mesmo tipo de edificação, que servirá como parâmetro para inserir o comportamento do usuário nos modelos de avaliação de desempenho por método de simulação computacional, a fim de obter resultados mais próximos dos reais.

2 ESTADO DA ARTE

Segundo Han et al. (2007), as diferenças encontradas entre os estudos de campo e os modelos preditivos indicam a adaptação das pessoas ao ambiente térmico por meio de ajustes no seu balanço de calor, através de roupas, janelas, ventilador, etc. A partir dos resultados da pesquisa de campo realizada por Han et al. (2007), que consistiu na aplicação de questionários para 110 sujeitos em 26 residências diferentes em três cidades de clima quente e úmido da China, constatou-se que cerca de 87% dos ocupantes analisados consideraram seus ambientes térmicos aceitáveis. Os autores ressaltaram também que mais de 60% dos ocupantes de residências com ar-condicionado consideraram seu ambiente aceitável, contudo, essa taxa cai para 20% entre os ocupantes sem ar-condicionado.

Os autores destacam ainda que os efeitos dos ajustes comportamentais, fisiológicos e psicológicos podem ter sido negligenciados quando os sujeitos responderam ao questionário, o que justificaria as diferenças entre os valores observados e previstos, atribuídos ao comportamento do usuário a longo prazo, como preferência por janelas abertas ou fechadas, fisiologia e psicologia (HAN et al., 2007).

A importância de avaliar o comportamento do usuário em circunstâncias distintas de clima e localização é confirmada por Roetzel et al. (2010), ao comentarem sobre um dos fatores que afetam a relação entre

o comportamento dos usuários e o desempenho térmico dos edifícios. Em edifícios ventilados naturalmente, as janelas são abertas para deixar entrar o ar fresco quando a temperatura externa é mais baixa e evita o aumento de temperatura interna.

Ao analisar a literatura acerca deste tema, Fabi et al. (2012) comentam que o comportamento dos ocupantes pode ser influenciado por três causas principais: causas externas (temperatura do ar, velocidade do vento); causas individuais e propriedades de construção (propriedades térmicas, dispositivos de aquecimento). Para Fabi et al. (2012), a temperatura externa vinha sendo considerada a maior responsável pela influência na interação entre os ocupantes e o ambiente construído, sendo este parâmetro classificado como 'fatores externos'. As causas individuais foram divididas em cinco grupos: fatores ambientais, fatores contextuais, fatores psicológicos, fatores fisiológicos e fatores sociais. Alguns exemplos de fatores ambientais são a temperatura, umidade, velocidade do ar, ruído, iluminação e odor. Já exemplos de fatores contextuais são: o isolamento de edifícios, orientação de fachadas, tipo de sistema de aquecimento, tipo de termostato (por exemplo, manual ou programável) etc. (FABI et al., 2012; DA YAN et al., 2015).

Da Yan et al. (2015) confirmaram que pesquisas realizadas sobre o comportamento dos usuários indicaram que fatores contextuais influenciaram no desempenho térmico dos edifícios. O principal motivo para a opção pelas janelas abertas no inverno era a qualidade interna do ar, enquanto no verão, o principal motivo para a ação de fechamento da janela era o incômodo provocado pelo barulho do lado de fora. A importância de considerar que o uso dos ocupantes pode influenciar os resultados das janelas em modelos de simulação foi mencionada por Da Yan et al. (2015), ao destacarem que, em modelos de simulação, as janelas são definidas com o máximo da área de abertura para maior aproveitamento da luz do dia. Entretanto, janelas muito

grandes podem levar os ocupantes a fecharem as persianas e optarem pela iluminação artificial em função do excesso de brilho.

Hong et al. (2017), apresentam dez perguntas sobre conceitos, aplicações e metodologias do comportamento dos ocupantes sobre a eficiência energética, para reduzir o uso de energia em edifícios. As primeiras três perguntas estão relacionadas a técnicas de monitoramento para quantificar impactos do comportamento humano sobre o desempenho térmico da construção. As respostas em relação aos “*os comportamentos dos ocupantes que influenciam o desempenho energético dos edifícios*” foram agrupadas em duas categorias (ações adaptativas e ações não-adaptativas) levando-se em conta o conceito de conforto adaptativo. Os autores destacam que as principais ações para adaptar o ambiente interno às suas necessidades ou preferências dos ocupantes são: abrir/fechar janelas, abaixar persianas, ajustar termostatos, ligar/desligar a iluminação, ajustar roupas e mover-se entre os ambientes. Já as ações não adaptativas estão relacionadas a operar equipamentos adicionais elétricos (por exemplo, aquecedores pessoais, ventiladores e sistemas elétricos de aquecimento e resfriamento de espaços). Hong et al. (2017) comentam ainda que, algumas ações, como abrir uma janela, por exemplo, o usuário altera as condições ambientais internas, o que pode resultar em um aumento no consumo de energia. Em relação aos procedimentos para “*quantificar o impacto dos ocupantes no desempenho energético da construção*”, os autores ressaltam que o comportamento dos ocupantes pode ser medido por métodos de sensoramento físico ou não-físico. Em edifícios comerciais verifica-se a ocupação (presença e movimento), a interação com o envelope do edifício (janelas, persianas), e o uso de sistemas de controle (HVAC, sistemas de iluminação). No método de observação, verificam-se os estados das janelas (abertas ou fechadas) em relação às condições ambientais do interior e do exterior.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O método desenvolvido nesta pesquisa compreende duas etapas: a) estudo de campo, com aplicação de questionários e caracterização dos modelos (levantamento documental, medições *in loco* e monitoramento das variáveis ambientais. Foram realizados levantamentos das unidades habitacionais em dois conjuntos habitacionais de interesse social; b) tratamento dos dados e análise pelo método de Estatística Descritiva, análise pelo método de Referência Cruzada e análise pelo método de Cluster.

3.1 Caracterização dos modelos

Inicialmente, foi aplicado um estudo piloto, realizado em fevereiro de 2017, na cidade de João Pessoa. Após aprimoramento dos questionários e otimização dos procedimentos a serem adotados, o processo de levantamento de dados foi iniciado. Os dados foram coletados em visitas realizadas a cada unidade habitacional, entretanto foi encontrada muita resistência dos moradores, além da identificação de risco aos entrevistadores decorrentes de problemas sociais e econômicos enfrentado pela comunidade em estudo. Assim, a pesquisa na primeira área foi concluída com uma amostra 36 questionários aplicados. Em seguida optou-se por adotar uma área de estudo com características similares, nas condições mais favoráveis à realização do trabalho de campo. A segunda área foi concluída com uma amostra de 43 questionários.

O tipo original da unidade habitacional autônoma (UH) do Conjunto 1, possui 37,22 m² (Figura 1), com os seguintes ambientes: 1 sala, 1 cozinha, 1 banheiro e 2 quartos. A edificação é térrea e possui

a cobertura em duas águas, e caracteriza-se como edificação ventilada naturalmente. A unidade habitacional (UH) do Conjunto 2, que será tratado como caso base, possui 35,27 m² (Figura 2), com os seguintes ambientes: 1 sala, 1 terraço, 1 cozinha, 1 banheiro e 1 quarto. Da mesma forma, também se caracteriza como uma edificação térrea, com telhado em duas águas e ventilada naturalmente. Nos dois conjuntos, os lotes são de 10m x 20m, as ruas possuem 8,00m de largura e as calçadas possuem 2,00m de largura.

Figura 1 – Planta baixa do caso base 1.

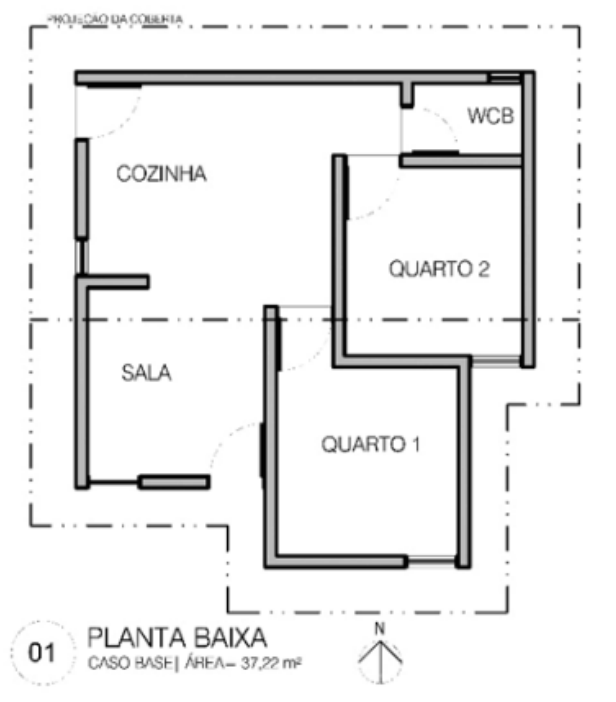


Figura 2 – Planta baixa do caso base 2.



3.2 Ações dos usuários

O questionário foi dividido em cinco grupos por tipo de questão. O primeiro grupo refere-se ao perfil do usuário, e compreende as questões 01, 02, 22, 23 e 24. O grupo 02 reúne as questões de sensação térmica, com escala para as questões 03 e 04, baseadas em índices de conforto térmico. As questões 05 a 10, e 25 estão relacionadas aos motivos que os usuários controlam a abertura e o fechamento das portas e janelas. As questões do grupo 04 auxiliam no entendimento das cargas internas geradas relacionadas a usos e equipamentos e as questões do grupo 05

definem os horários e rotinas dos ocupantes. A amostra final de famílias entrevistadas totalizou 79 questionários aplicados, sendo 36 questionários oriundos da área de estudo 1 e 43 questionários provenientes da área de estudo 2.

3.3 Análise dos dados

A análise dos dados foi desenvolvida com o auxílio do *software SPSS Statistics 24.0*, e ocorreu em 3 etapas. A primeira etapa refere-se a uma avaliação inicial, onde foi adotado o uso de Estatística Descritiva para entender o comportamento das variáveis estudadas. A segunda etapa foi Referência Cruzada, quando foi possível comparar respostas de questões distintas que possuíam correlação. Na terceira etapa, os dados foram analisados pelo método de agrupamento, ou Análise de Cluster. O parâmetro base para classificação dos grupos foi o número de moradores por família, permitindo identificar os diferentes tipos de família encontrados nos dois conjuntos habitacionais para, em seguida, identificar as diferenças entre os hábitos e rotinas de cada um deles.

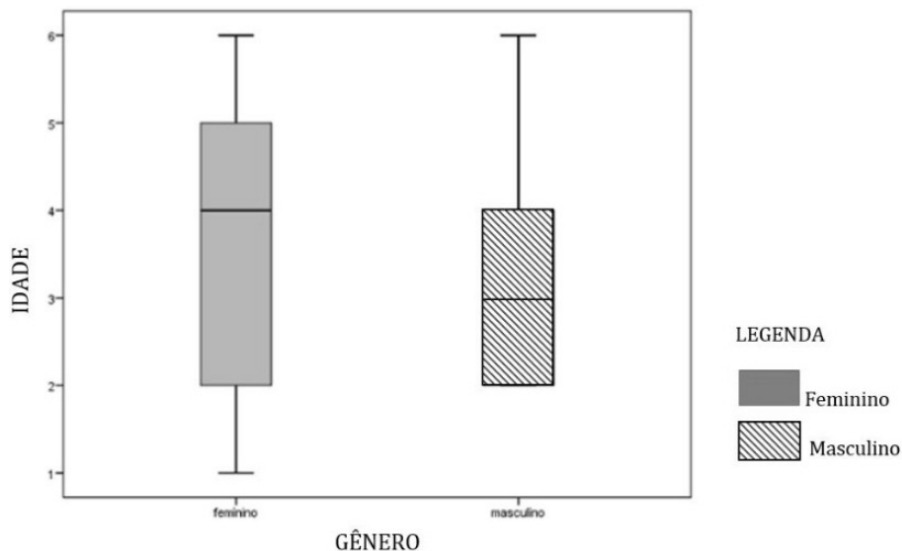
Na fase de aplicação da Estatística Descritiva, as questões foram divididas em quatro grupos por método aplicado. As questões com respostas abertas relacionadas ao perfil do entrevistado foram agrupadas no grupo 1 e as respostas foram codificadas. O grupo 2 é formado por questões de múltipla escolha, que foram organizadas separadamente e analisadas em conjunto, considerando sim (1) ou não (0) para as opções assinaladas. O grupo 3 abrange as questões abertas e o último grupo reúne as questões objetivas. Em seguida, foi aplicado o método de Referência Cruzada no programa SPSS. O método identifica a influência entre duas questões ao mesmo tempo, gerando como dados de saída: tabelas de contagem e gráficos de barra, entre outros.

4 RESULTADOS

As questões relacionadas com o perfil dos moradores foram analisadas por Estatística Descritiva. A variável tempo de moradia no local ocorreu com a seguinte distribuição: de 1 a 5 anos – 27,85%, de 6 a 10 anos – 20,25%, de 11 a 15 anos – 17,72% e, por último, de 16 a 20 anos – 18,99%. A maior parte dos moradores nasceu em João Pessoa ou no interior da Paraíba, totalizando 91% dos dados somados. Em relação ao gênero, 67,1% dos entrevistados pertencem ao grupo feminino, enquanto 32,9% constituem indivíduos masculinos.

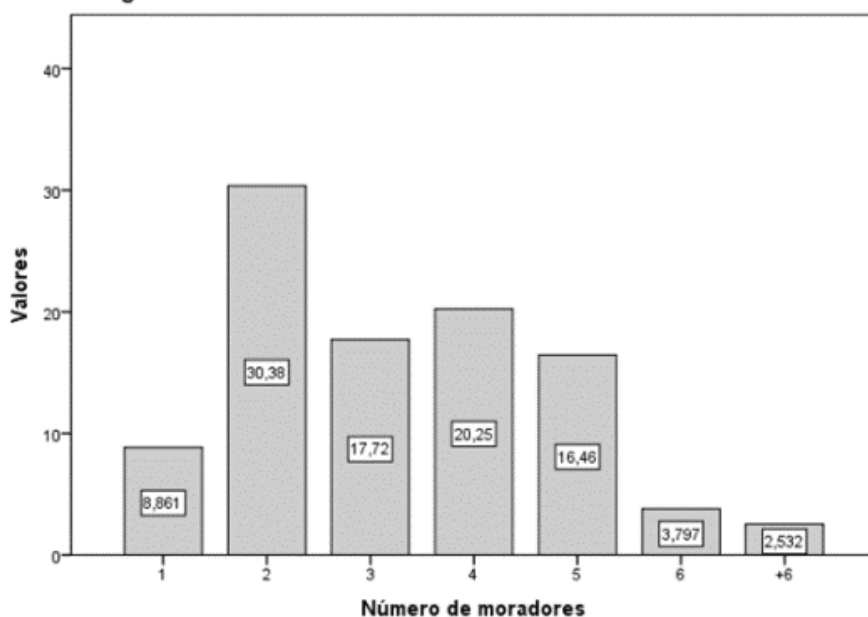
Sobre a idade dos entrevistados, o intervalo foi de 20 a 60 anos, com maior frequência entre 20 e 29 anos. A maioria, 50% das respostas, ocorreram na faixa etária de 20 a 50 anos, com a mediana, tanto masculina quanto feminina, na faixa dos 30 a 39 anos. O percentual feminino é maior na faixa etária acima de 40 anos (Figura 3).

Figura 3: Distribuição idade x gênero dos entrevistados



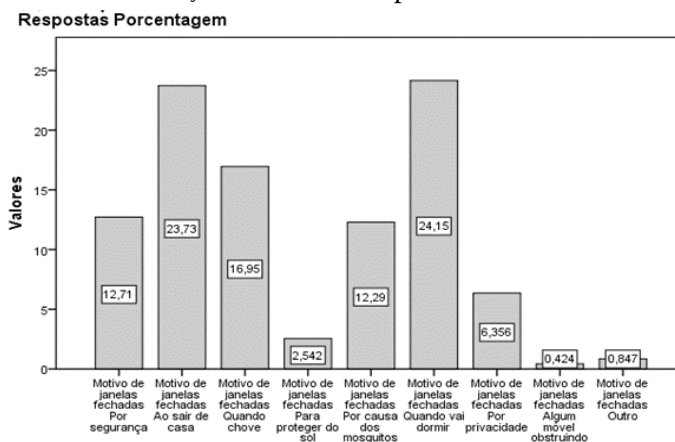
Na questão relacionada com a quantidade de moradores por unidade habitacional (Figura 4), percebe-se que o gráfico por setor mostra que 30,3% das respostas indicam 02 moradores por moradia. O segundo resultado mais relevante foram 4 moradores por unidade habitacional, seguido de composições de famílias com 3 e 5 moradores.

Figura 4 – Distribuição da quantidade de pessoas por habitação
Porcentagem



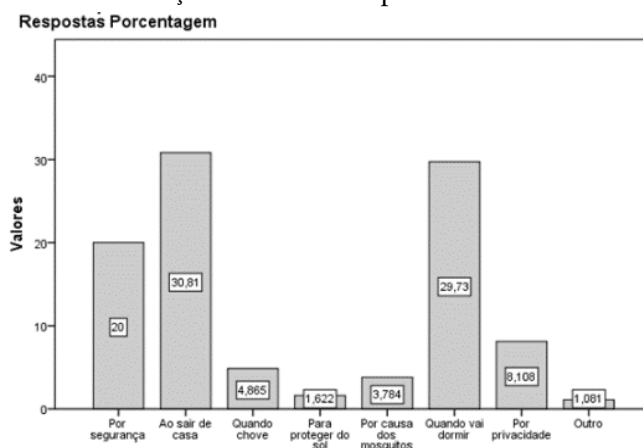
Na questão sobre o motivo para “fechar as janelas”, a maior parte dos ocupantes indicou mais de uma resposta. As opções mais escolhidas foram: ‘*quando vai dormir*’ e ‘*ao sair de casa*’, conforme Figura 5.

Figura 5 – Distribuição do “motivo” para o fechamento das janelas



Também foi questionado sobre o motivo para “fechar as portas”, observou-se que a maior parte dos entrevistados escolheu a opção ‘*ao sair de casa*’, com 31,4% das respostas (Figura 6). Esta questão também foi analisada a partir da tabela de número de casos associada ao gráfico de barras por percentagem.

Figura 6 – Distribuição do “motivo” para o fechamento das portas



No grupo de questões abertas, destaca-se a pergunta relativa ao horário que as janelas ficam abertas, que resultou em quinze respostas diferentes, com apenas quatro (entre as respostas) que obtiveram mais de 3 repetições. A partir da Tabela 1, verifica-se que 70,9% dos casos informaram que mantêm as janelas abertas ‘*o dia todo*’.

Sobre o horário que as portas estão abertas (Tabela 2) verificou-se que doze respostas diferentes foram relatadas. A resposta ‘*o dia todo*’ resultou em 63% dos casos, entretanto a segunda resposta mais frequente foi o inverso: ‘*nunca, sempre fechada*’, com 16% das respostas. A resposta ‘*à tarde*’ recebeu mais de dois casos.

Tabela 1 - Horário das janelas abertas.

Período	Frequência	Porcentagem
8h -16h	1	1,3
Dia todo	56	70,9
6h-21h	1	1,3
7h-22h	1	1,3
7h-15h	2	1,3
sempre fechada	4	5,1
aberta 24hs	2	2,5
6h-23h	1	1,3
7h-19h	1	1,3
7h-17h	3	3,8
À tarde	1	1,3
À noite	1	1,3
6h-7h e 22h-24h	2	2,5
De manhã	3	3,8
8h-17h	1	1,3

Tabela 2 - Horário das portas abertas

Período	Frequência	Porcentagem
dia todo até 00h	1	1,3
dia todo	50	63,3
6h-21h	1	1,3
7h-21h	2	2,5
nunca, sempre fechada	13	16,5
6h-22h	2	2,5
7h-00h	1	1,3
7h-22h	1	1,3
À tarde	5	6,3
6h-7h e 22h-00h	1	1,3
7h-20h	1	1,3
Até 17h	1	1,3
6h-21h	2	2,5
7h-21h	13	16,5
nunca, sempre fechada	2	2,5

A respeito do uso de ventilador, a questão foi observada a partir de sua frequência, indicando que 72% dos entrevistados responderam que usam o ventilador ‘*à noite*’. Quanto à frequência de uso, foram observados que 54% dos casos usam o ventilador ‘*todos os dias*’.

Considerando a relevância da carga interna produzida na habitação, um questionamento tratando do uso do fogão na cozinha foi também abordado. A mediana indicou a seguinte resposta: ‘*durante a semana*’. Ao analisar a frequência, foi observado que 53% dos entrevistados cozinham durante a semana e 26% cozinham todos os dias.

4.1 Análise referência cruzada

Ao aplicar o método de Referência Cruzada entre o horário que o morador sai para trabalhar e a quantidade de moradores por unidade,

percebe-se que a maior parte dos usuários costuma sair às 7h, para as unidades com duas pessoas, quatro pessoas e com cinco pessoas por unidade. Entre as famílias com três moradores, a maioria dos moradores, que respondeu aos questionários, não possui emprego remunerado, seguidos pelos moradores que saem para trabalhar às 7h da manhã.

A partir da análise dos motivos para operação das janelas, foram cruzados os dados resultantes da questão aberta, em que os ocupantes poderiam descrever quando as janelas estão abertas livremente, com a questão de múltipla escolha com motivos pré-definidos. O horário que as janelas estão abertas foi analisado nas seguintes alternativas: *‘quando vai dormir’*, *‘ao sair de casa’*, *‘por segurança’*, *‘quando chove’*, *‘para proteger do sol’*, *‘por causa dos mosquitos’* (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

Tabela 3 - Referência Cruzada - *‘quando vai dormir’*

Horário janelas abertas	Quando vai dormir	Total
8h-17h	1	1
De manhã	1	1
6h-7h e 22h-24h	2	2
À tarde	1	1
7h-17h	2	2
6h-23h	1	1
aberta 24hs	1	1
7h-22h	1	1
6h-21h	1	1
Dia todo	46	46
TOTAL	57	57

Tabela 4 - Referência Cruzada - *‘ao sair de casa’*

Horário janelas abertas	Ao sair de casa	Total
8h-17h	1	1
De manhã	1	1
6h-7h e 22h-24h	2	2
À noite	1	1
À tarde	1	1
7h-17h	2	2
aberta 24hs	1	1
sempre fechada	4	4
7h-22h	1	1
6h-21h	1	1
dia todo	40	40
8h-16h	1	1
TOTAL	56	56

Tabela 5 - Referência Cruzada - *‘por segurança’*

Horário janelas abertas	Por segurança	Total
8h-17h	1	1
De manhã	0	1
6h-7h e 22h-24h	1	2
À tarde	1	1
7h-17h	0	2
6h-23h	0	1
aberta 24h	0	1
7h-22h	0	1
6h-21h	0	1
dia todo	18	46
TOTAL	21	57

Tabela 6 - Referência Cruzada - *‘por causa dos mosquitos’*

Horário janelas abertas	Por causa dos mosquitos	Total
8h-17h	1	1
De manhã	2	2
7h-17h	3	3
7h-19h	1	1
aberta 24h	2	2
sempre fechada	1	1
7h-15h	1	1
dia todo	17	17
8h – 16h	1	1
TOTAL	29	29

Já no cruzamento de quem abre as janelas *‘o dia todo’* com a alternativa *‘quando vai dormir’*, pode-se observar que as pessoas que responderam “as janelas permanecem abertas o dia todo”, também indicaram que fecham as janelas quando vão dormir. Isto é, de 50 ocupantes que responderam que “deixam as janelas abertas o dia todo”, 46 destas também responderam que “fecham as janelas quando vão dormir” (92% dos casos). Assim, pode-se concluir que a resposta *‘o dia todo’*, compreende o despertar/levantar, em torno de 7 horas da manhã até o momento de recolhimento para dormir, por volta de 22 horas.

A alternativa *‘quando chove’* foi menos indicada que as alternativas anteriores, com 40 respostas. O cruzamento mais relevante continua sendo com a resposta *‘o dia todo’*, com 60% das respostas. Poucos ocupantes escolheram a alternativa *‘para proteger do sol’*, com apenas 6 respostas distribuídas entre *‘a tarde’*, *‘7h às 15h’* e *‘o dia todo’*. Por fim, o cruzamento com a alternativa *‘por causa dos mosquitos’* indicou a variabilidade de

resposta com 9 entre 15 respostas da questão aberta. É importante observar que os dois moradores que responderam que mantêm *‘as janelas abertas 24h’*, também responderam que fecham as janelas *‘por causa dos mosquitos’*, indicando a fragilidade de algumas respostas abertas. A importância de confrontar a mesma informação em duas respostas diferentes auxiliou no entendimento da real situação da rotina dos usuários quanto ao controle das aberturas e os motivos que determinam os horários que estas são operadas pelos ocupantes.

4.2 Análise de cluster

Ao analisar os dados resultantes do estudo de campo, foram definidos alguns parâmetros iniciais para o agrupamento que permitam compreender a variabilidade de comportamentos e usos presentes nos conjuntos habitacionais estudados. O primeiro parâmetro está associado ao número de moradores por unidade habitacional. Foi observado que a predominância das respostas variou entre famílias com 2 moradores, com 30%, em segundo lugar família com 4 moradores, com 20%, e famílias com 3 moradores, com 17%. Este fator foi decisivo para a definição de 3 grupos que foram analisados segundo as mesmas características.

Em seguida, foram analisados os principais horários que auxiliam na compreensão do comportamento do usuário e sua relação com a habitação, observando os horários que os ocupantes acordam, dormem, saem e retornam do trabalho. As principais diferenças quanto à operação das aberturas, ocorre em horários que as janelas permanecem abertas ou fechadas em cada tipo de família. Na maior parte dos casos, foi identificado o uso contínuo de janelas abertas durante o dia todo, considerando que os usuários geralmente ao acordar/levantar abrem as janelas, mantendo-as abertas o dia todo, fechando ao sair de casa ou à noite, por segurança, em

menor frequência. A chuva pode ser também determinante no fechamento da abertura. Sobre o uso de fogão e ventilador, também foram observadas diferenças significativas no modelo de família de dois moradores e no modelo de família de quatro moradores.

Em certos comportamentos, assim como em respostas relacionadas aos usos das aberturas, foram observadas algumas incoerências e contradições, dificultando a interpretação dos dados. Como a maior parte das respostas é declarada pelos ocupantes e não foram registradas por nenhum outro método de análise, é importante destacar que os usos e comportamentos resultantes podem sofrer algumas alterações em relação a situação real. Estas incoerências podem ser resultantes das limitações de compreensão de texto e de interpretação do assunto abordado pelos usuários. Os principais implicadores neste caso são respostas tendenciosas devido ao chamado efeito *Wawthorne*, que considera um tipo de reação em que sujeitos modificam ou melhoram características do seu comportamento em resposta à sua consciência por estarem sendo observados (HONG et al., 2017).

5 CONCLUSÃO

A partir da realização de uma pesquisa de campo com aplicação de questionários, classificaram-se os padrões de comportamento em três categorias por Análise de Cluster. Ainda são necessários esforços complementares para aprimorar os parâmetros que resultam na divisão dos agrupamentos por comportamento dos usuários em padrões típicos, bem como considerar a importância dos outros modelos de comportamentos que resultaram em menor percentual. Entretanto, as três categorias permitiram avaliar a influência dos tipos de famílias sobre o comportamento dos usuários, isto é, individualmente ou em grupo, as ações que impactam

no desempenho térmico das habitações não sofreram alterações. Foram identificados que os tipos de famílias mais representativos demonstraram padrões de ocupação semelhantes, determinados principalmente, pelos horários de trabalho dos moradores.

Os resultados apontam forte correlação entre a abertura das janelas e o horário que as pessoas permanecem em casa. O fator segurança foi o indicador que mais influenciou o horário de fechar as aberturas, mesmo quando havia necessidade de mantê-las abertas para promover ventilação natural. Percebe-se uma inversão em algumas ações de adaptabilidade esperadas, tais como: o uso de ventilação mecânica no período noturno (quando as condições de temperatura externa estão mais baixas) porque as portas e janelas estão totalmente fechadas. Ressalta-se ainda que o desempenho térmico das edificações analisadas também foi afetado por alterações nas edificações, realizadas após a ocupação, como a inclusão de grades de segurança nas aberturas e a ocupação dos recuos laterais na ampliação da área construída - sendo essas últimas, adaptações que reduzem a possibilidade de ventilação natural.

Considerando os parâmetros identificados na literatura sobre este tema, diversas pesquisas consideram que a temperatura externa é a maior responsável pela influência do comportamento dos ocupantes sobre o desempenho térmico das habitações, entretanto, os dados apresentados nesta pesquisa mostraram que a interação entre os ocupantes e as habitações sociais em clima quente e úmido são geradas pela necessidade de ventilação natural associada à rotina de acordar/levantar e dormir (FABI et al., 2012). As janelas permaneceram abertas ou fechadas independentemente da temperatura externa, o fator determinante para o fechamento das aberturas foi a segurança, posto que, ao dormir ou ao sair de casa, os moradores sentiram a necessidade de fechar tanto as janelas quanto às portas.

Com o resultado desta pesquisa, conclui-se que a influência do comportamento dos ocupantes sobre os modelos de simulação em clima quente e úmido podem resultar em desempenhos térmicos distintos dos modelos que consideram a temperatura externa como base para a adaptação do conforto. Pesquisas futuras, especialmente com a ampliação da amostra, medições de temperatura interna e temperatura externa associadas ao momento de abertura e fechamento das janelas, entre outras, podem contribuir para confirmar o comportamento dos ocupantes identificados nos questionários.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Capes e do Cnpq que fomentaram a presente pesquisa, especialmente a bolsa PDSE/Capes concedida em 2017.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, Rune K.; FABI, Valentina; CORGNATI, Stefano P. **Predicted and actual indoor environmental quality: Verification of occupant's behaviour models in residential buildings**. Energy and Buildings, v. 127, p. 105-115, 2016.
- BOWLES, J. E. **Foundation analysis and design**. Nova Iorque: MacGraw-Hill, 1996.
- DA YAN; O'BRIEN, William; HONG, Tianzhen; FENG, Xiaohang; GUNAY, H. Burak; TAHMASEBI, Farhang; MAHDAVI, Ardeshir. **Occupant behaviour modeling for building performance simulation: Current state and future challenges**. Energy and Buildings, v. 107, p. 264-278, nov. 2015. ISSN 0378-7788.

FABI, Valentina; ANDERSEN, Rune V; CORGNATI, Stefano; OLESEN, Bjarne W. **Occupant's window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models.** Building and Environment, v. 58, p. 188-198, 2012.

HAN, Jie et al. **Field study on occupant's thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China.** Building and Environment, v. 42, p. 4043-4050, 2007.

SORGATO, Marcio José. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais.** Universidade Federal de Santa Catarina (Tese de doutorado). Florianópolis, 2015

HONG, Tianzhen; TAYLOR-LANGE, Sarah C.; D'OCA, Simona; DA YAN; CORGNATI, Stefano P. Corgnati. **Advances in research and applications of energy-related occupant behaviour in buildings.** Energy and Buildings, v. 116, p. 694-702, mar. 2016.

ROETZEL, Astrid; et al. **A review of occupant control on natural ventilation.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 14, p. 1001-1013, 2010.

ZHANG, Yufan; BARRET, Peter. **Factors influencing the occupant's window opening behaviour in a naturally ventilated office building.** Building and Environment, v. 50, p. 125-134, 2012.

Redução da carga térmica através de resfriamento convectivo noturno no clima quente e úmido e no semiárido

*Mayara Cynthia Brasileiro de Sousa
Luana Maria de Medeiros Quirino
Solange Maria Leder*

1 INTRODUÇÃO

Nas regiões com clima predominantemente quente o ar-condicionado é entendido como principal solução para reduzir o excesso de calor nas edificações (HOLLMULLER et al., 2005). Sobre este fato, De Vecchi (2015) observou que o uso em excesso de condicionamento artificial para o resfriamento da edificação gera um efeito acumulativo, já que o seu funcionamento está atrelado a uma maior emissão de calor para o ambiente externo.

O uso de sistemas artificiais para remoção da carga térmica acumulada resulta no aumento da demanda energética, especialmente acentuada nos meses quentes, ampliando assim, a necessidade de ações emergenciais para geração de energia, a fim de abastecer a alta demanda e evitar apagões (ONS, 2017) como o que ocorreu em 2015 (VEJA, 2015).

No último relatório da Eletrobrás (2009), em relação à posse de equipamentos e hábitos de uso no Brasil, observou-se que 48% da energia

nos edifícios públicos é destinada ao uso do condicionamento ambiental, este número diminui para 23% e 20% nos setores comerciais e residenciais, respectivamente. Neste cenário, é indiscutível a necessidade de medidas de eficiência energética nas edificações, que possibilitem a manutenção da qualidade ambiental com um menor custo operacional, destacando-se as estratégias bioclimáticas.

A bioclimatologia, estudo das relações que ocorrem entre o ambiente e os organismos vivos (ALCOFORADO, 2001), aplicada ao projeto arquitetônico consiste principalmente no estudo e no desenvolvimento de estratégias bioclimáticas, que, em suma, são o emprego de técnicas na construção que promovam o conforto, ou o menor desconforto possível, de forma passiva, ou seja, sem consumo de energia.

Um dos fundamentos das estratégias bioclimáticas tem como base os processos de trocas térmicas, que se subdivide em trocas térmicas secas (convecção, radiação e condução) e úmidas (evaporação e condensação). As trocas por convecção (secas) compõem as trocas térmicas que advêm de dois corpos, sendo um deles sólido e o outro fluído (gás ou líquido), deste modo, integra as técnicas que se usam da ventilação natural ou mecânica. Estas, além de possíveis promotoras do conforto térmico, proporcionam a renovação do ar (FROTA; SCHIFFER, 2001). Nesta pesquisa se analisou o potencial da ventilação natural no período noturno como dissipador do calor no clima quente e úmido e no semiárido.

1.1 Resfriamento convectivo noturno

Fanger (1973) observou que as pessoas permanecem uma média de 23 horas por dia em ambientes internos, e conforme ressaltado por De Dear et al. (2013) existe um crescente interesse acadêmico e comercial pelo

estudo de meios passivos de condicionamento térmico que promovam o conforto, sendo nos últimos anos um dos maiores enfoques a ventilação natural.

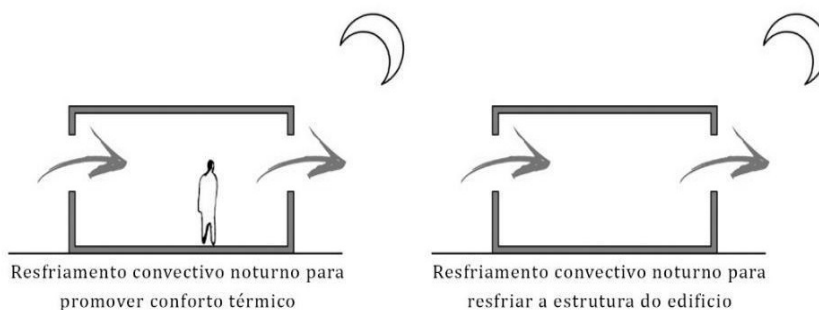
Quando a temperatura interna é superior à temperatura externa, a renovação do ar no ambiente induz a perda de calor no ambiente interno (FROTA; SCHIFFER, 2001). Ao longo do dia, com a presença da radiação solar, nem sempre as condições externas são favoráveis ou suficientes para promover o conforto térmico no ambiente interno através da ventilação natural. Somando-se ainda, outros problemas - como a poluição e o ruído externo - podem ser desfavoráveis a promoção da ventilação natural. No período noturno, no entanto, com a ausência da radiação solar e a redução da temperatura externa, a ventilação natural é um recurso para a redução da temperatura interna. A ventilação noturna ou estrutural consiste na promoção do resfriamento passivo (embora também possa ser aliada a meios mecânicos) através da ventilação (convecção) no turno da noite, sendo considerada uma técnica de baixo custo (KUBOTA, et al., 2009). Esta técnica é válida quando a temperatura externa do ar noturno é inferior à interna e consiste na entrada do ar fresco noturno na edificação, a fim de dissipar o calor da massa do edifício (Figura 1).

Edifícios com uso comercial, serviço ou institucional frequentemente funcionam no turno da manhã, assim o resfriamento convectivo noturno é capaz de resfriar a estrutura do edifício, diminuindo a sua carga térmica. Já em edificações de uso habitacional a ocupação de usuários no turno noturno é provável, de modo que a ventilação natural, além da redução da carga térmica da edificação, provém conforto por meio da troca térmica com o indivíduo (LAMBERTS, et al., 2014).

A técnica de resfriamento noturno comumente é utilizada no clima quente e seco, devido à grande amplitude térmica diária, entretanto,

resultados satisfatórios podem ser encontrados em outros climas, como comprovado por Kubota *et al.* (2009). Em estudo realizado no clima quente e úmido da Malásia, foi observada uma redução média de 2,0°C na temperatura interna de edificações residenciais térreas, se comparado com o uso único da ventilação diurna. O estudo demonstrou que a ventilação noturna associada com desumidificador no período diurno poderia promover, em consideráveis situações, conforto térmico, e consequentemente, diminuir a energia gasta com meios mecânicos de resfriamento, como o ar condicionado (KUBOTA, et al., 2009).

Figura 1 - Ventilação noturna como promotor do resfriamento convectivo noturno



A ventilação noturna normalmente é subdividida em duas etapas, sendo a primeira a abertura das janelas para permitir a entrada do ar fresco noturno e saída do ar aquecido, e a segunda o fechamento das esquadrias para evitar a entrada do ar aquecido diurno. Em edifícios que não tenham atividade durante o turno noturno, o ideal é que o resfriamento fique abaixo da temperatura de conforto (LECHNER, 2014).

A obtenção do desempenho do resfriamento convectivo noturno, segundo Givoni (1991), depende das condições climáticas e dos detalhes

construtivos do projeto do edifício. A respeito das condições climáticas, a faixa diurna de temperatura e o máximo da temperatura alcançado nos meses quentes são as principais variáveis. Se observou que em edifícios de alta massa, bem isolados e sombreados é possível uma redução da temperatura máxima interna de 35 a 45% em relação a máxima externa e uma mínima interna maior 35 a 45% em relação a mínima externa (GIVONI, 1991). Sobre edifícios residenciais ventilados no período noturno, ensaios indicam que a temperatura mínima de um ambiente ventilado é reduzida em cerca da metade da diferença entre o mesmo ambiente não ventilado e a temperatura externa (GIVONI, 1991).

De acordo com Lechner (2014) para dissipação do calor da edificação, o ideal é que a área da abertura seja de 10 a 15% a área do piso, e quando este não for suficiente devem ser inseridos exaustores. Segundo o mesmo autor, o fluxo de ar deve ser direcionado para a massa e não para os ocupantes. Como exemplos de edifícios que foram concebidos para se utilizar da ventilação noturna o autor destaca: *The Emerald PUD Building* em Eugene, Oregon e o *The Bateson Office Building* em Sacramento na Califórnia, EUA. (LECHNER, 2014).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de estudar a remoção da carga térmica através do resfriamento convectivo noturno nos setores residenciais e institucionais (aqui representados por auditórios) no clima quente e úmido e no semiárido, foram traçadas as seguintes etapas metodológicas:

- a) Escolha das variáveis a serem obtidas, escolha e caracterização do objeto de estudo;
- b) Coleta de dados quantitativos sobre a eficiência da ventilação noturna no clima quente e úmido e no clima do semiárido em

- edifícios residenciais, como promotor do resfriamento passivo;
- c) Coleta de dados quantitativos sobre a eficiência da ventilação noturna no clima quente e úmido em um edifício institucional; como promotor do resfriamento passivo;
- d) Análises descritivas e tratamento de dados;
- e) Estimação da eficiência energética proveniente da ventilação noturna nos espaços estudados;
- f) Estimação do conforto térmico proveniente da ventilação noturna nos espaços residenciais.

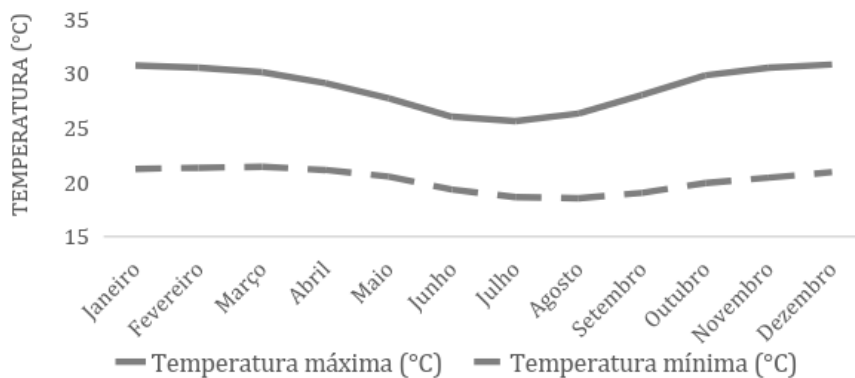
2.1 Objeto de estudo

O recorte climático desta pesquisa consiste em dois climas, o clima quente e úmido e o clima semiárido, tendo como representantes do primeiro a cidade de Cabedelo-PB e João Pessoa-PB, e do segundo a cidade de Campina Grande-PB. Como pode ser observado na Figura 2, a amplitude térmica mensal do semiárido possui média e mediana de 8,58 °C e 8,85 °C, respectivamente. No clima quente e úmido se observa uma menor amplitude térmica, com valores de média e mediana de 6,13 °C e 6,20 °C, respectivamente. A maior faixa de amplitude térmica encontrada no semiárido contribui para uma melhor eficácia no resfriamento convectivo noturno.

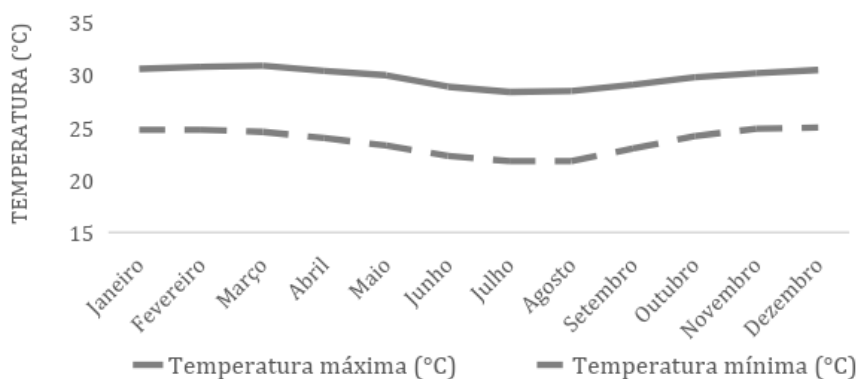
Como objeto empírico do setor residencial, foram adotados dois dormitórios situados em edifícios, construídos com alvenaria convencional, esquadrias de vidro e alumínio e portas de madeira com bandeiras que permitem passagem do vento, de modo que o material construtivo é similar. Em ambos os casos se observou através de anemômetros que a ventilação era cruzada, com sentido janela - porta.

Figura 2 - Normais climatológicas de 1981-2010:

a) Campina Grande e b) João Pessoa



(a)



(b)

O primeiro edifício residencial está situado na cidade de Cabedelo-PB (clima quente e úmido), na região de Camboinha, a cerca de 330 metros da orla marítima. A quadra na qual o edifício está implantado é composta por diversas construções com mesma altura e pequeno espaçamento entre elas, o prédio é revestido

predominantemente de pastilha na cor branca (Figura 3 b). O quarto analisado se encontra no primeiro pavimento e possui área interna de aproximadamente $8,97 \text{ m}^2$, a esquadria do tipo “de correr” com duas folhas possui área de aproximadamente $1,27 \text{ m}^2$, e área de abertura efetiva (descontado caixilhos e área fixa) de $0,40 \text{ m}^2$, equivalente a 4,4 % do piso (Figura 4 b).

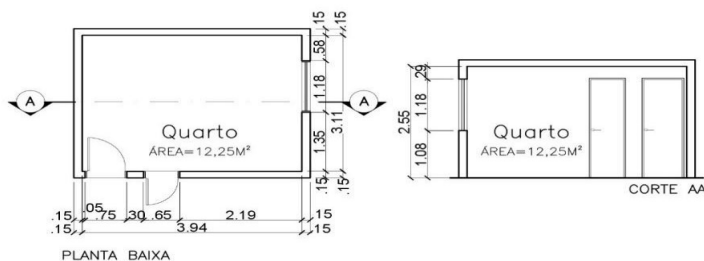
Figura 3 - Edifícios residenciais em estudo:

a) Campina Grande e b) Cabedelo

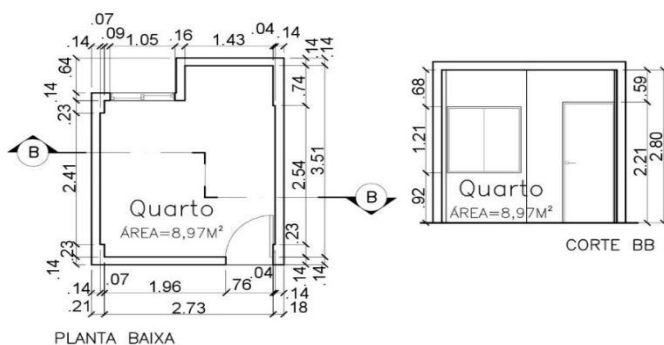


O segundo edifício se encontra na cidade de Campina Grande-PB (semiárido), no bairro do Catolé, o mesmo é revestido predominantemente por pastilhas na cor branca, em seu entorno não existe aparentes barreiras para a ventilação (Figura 3 a). O dormitório utilizado no ensaio se encontra no quinto pavimento, possui $12,25 \text{ m}^2$ de área, a esquadria é do tipo “de correr” com duas folhas e área de aproximadamente $1,40 \text{ m}^2$, sendo a área de abertura efetiva de $0,62 \text{ m}^2$, o que equivale a aproximadamente 5 % da área do piso (Figura 4 a).

Figura 4 - Plantas e cortes dos objetos empíricos: a) Quarto em Campina Grande e b) Quarto em Cabedelo



(a)



(b)

A Universidade Federal da Paraíba foi escolhida para o estudo com uma edificação institucional. O bloco de Multimídias do Centro de Tecnologia, localizado no Campus I de João Pessoa, foi definido como objeto de estudo. Optou-se por um ambiente que possibilitasse ventilação cruzada, tendo sido escolhido um auditório,

com área de aproximadamente 244 m². Considerando a direção do vento dominante, o edifício se situa após uma área de preservação ambiental constituída de elementos arbóreos de grande porte, que provavelmente contribuem para a atenuação da intensidade da ventilação.

O edifício (Figura 5), de três pavimentos e revestido de pastilha branca, possui duas peles com um vazio de 1,2 metros entre as mesmas. A primeira pele é em fechamento opaco (parede de alvenaria) e fechamento transparente (aberturas), a segunda pele é um elemento de proteção metálico vazado, com significativa obstrução. O auditório se localiza no segundo pavimento, possui 18 janelas “de correr” com duas folhas, em vidro e alumínio. A área das janelas compreende aproximadamente 31,75 m², sendo a abertura efetiva de 9,53 m², equivalente a 3,9 % da área do piso (Figura 6).

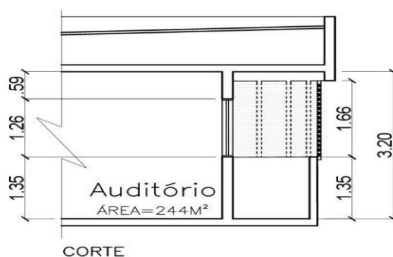
Figura 5 - Edifício Institucional em estudo



Figura 6 – Edifício Institucional: Planta baixa (a) e corte da abertura (b)



(a)



(b)

2.2 Medições das variáveis ambientais

Para analisar o potencial de resfriamento convectivo da ventilação noturna, optou-se por utilizar as variáveis: temperatura do ar, temperatura radiante média (calculada através da temperatura de globo) e velocidade do ar. Os equipamentos utilizados foram: anemômetro digital de fio quente modelo INSTRUTHERM TAFR-180, medidor de Stress térmico digital modelo TGD-300 da INSTRUTHERM e estação meteorológica *Davis*

Vantage Pro 2; os sensores foram instalados a 1,10 m de altura. Os sensores de temperatura do ar foram ajustados para coletar dados instantâneos a cada 1 minuto, enquanto o de velocidade do ar a cada 2 minutos, esta frequência foi determinada com base na capacidade do *datalogger* dos equipamentos.

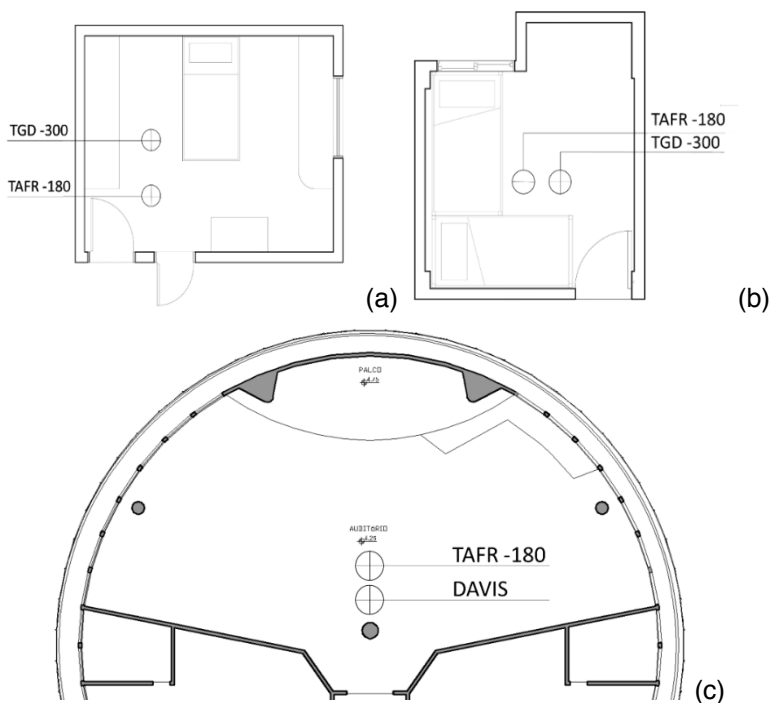
Nos edifícios residenciais os ensaios duraram cerca de 12 horas e ocorreram em dias subsequentes. No edifício institucional, devido à dimensão do ambiente e maior inércia térmica, se optou por usar uma estratégia diferenciada com ensaios de 72 horas, e devido a não disponibilidade do mesmo, os ensaios com aplicação do resfriamento convectivo e a ausência dele não foram sequenciais. Para comprovar que os dias eram análogos, foram utilizados Testes *t de Student* para agrupar os dias pares.

Os dados meteorológicos referentes ao clima externo, nas cidades de Campina Grande e Cabedelo, para confrontação e análise dos resultados obtidos com os edifícios residenciais, foram obtidos através da plataforma do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Para a cidade de Cabedelo foi considerada a estação meteorológica de João Pessoa, sendo estas cidades conurbadas. Os dados meteorológicos referentes às análises no auditório foram obtidos através de uma estação meteorológica localizada na Universidade Federal da Paraíba, distante, aproximadamente, 260 metros do edifício analisado.

Para comprovar a eficiência do resfriamento convectivo noturno, os ensaios foram divididos, para cada objeto de estudo. Sendo um ensaio com o uso da estratégia da ventilação noturna e em outro sem ventilação. Consequentemente, um conjunto de dados corresponde às medições com as esquadrias do ambiente em estudo abertas e o outro conjunto com as esquadrias fechadas. Os equipamentos foram locados em uma posição relativamente central no interior do ambiente em estudo, de acordo com a disposição do mobiliário, conforme pode ser observado na Figura 7.

Para facilitar as análises, o texto foi redigido de modo que cada ensaio se resumisse ao dia no qual as medições tiveram seu início. Entretanto, a rigor, os experimentos são iniciados em uma noite e finalizados na manhã do dia seguinte. Exemplificando, o experimento do dia 12 de maio, corresponde à noite do dia 12 e a madrugada e início da manhã do dia 13; de igual modo, o experimento do dia 13 equivale à noite do dia 13 e madrugada e manhã do dia 14. Os ensaios na cidade de Campina Grande foram realizados nos dias 12 e 13 de maio de 2017, em Cabedelo nos dias 10 e 11 de maio de 2017 e no auditório em João Pessoa nos dias 14, 15, 28 e 29 de setembro de 2017.

Figura 7: Plantas esquemáticas da locação dos equipamentos de medição - Campina Grande (a), Cabedelo (b) e João Pessoa (c)



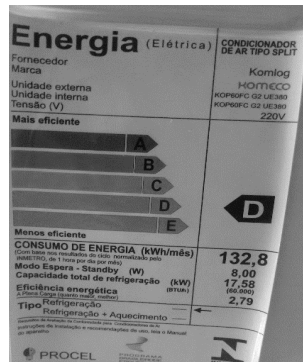
Os primeiros 30 minutos após a instalação dos equipamentos foram utilizados para estabilização dos mesmos, consequentemente, foram desconsiderados na amostra. Após a realização dos ensaios, os dados foram tabulados em planilhas eletrônicas do Excel. As análises estatísticas foram realizadas no *software R*.

2.3 Eficiência energética e conforto térmico

Para estimar a eficiência energética proveniente do uso da ventilação noturna, foi observado no auditório o tempo médio para o resfriamento do ambiente com o acionamento do sistema de ar condicionado, tendo como base a amplitude térmica alcançada através do resfriamento convectivo estrutural. Deste modo, foram instalados, no auditório, dois equipamentos de medição da temperatura do ar modelo Hobo U12-012, no dia 18 de setembro de 2018, no mesmo ponto que os demais equipamentos haviam sido anteriormente instalados. A aquisição de dados ocorreu a cada minuto.

Decorrido 30 minutos de estabilização dos Hobos, os quatro refrigeradores que constam no auditório foram ligados. Os equipamentos do tipo *Split*, marca Komeco modelo KOP60FC G2 UE380, possuem capacidade total de refrigeração de 60000 BTUs. Baseado no consumo de energia (kWh/mês) disposto na etiqueta PROCEL (Figura 8) do equipamento já instalado, foi calculado o custo anual do seu uso, para atingir a mesma redução que o resfriamento estrutural, seguindo a equação 1.

Figura 8 - Etiqueta de eficiência energética do refrigerador instalado no auditório.



$$Custo = (consumo \text{ kWh/mês}) * (Ftu) * (N) * (meses) * (tarifa) \quad [Eq.1]$$

Onde:

Ftu = fator de correção do tempo de utilização

N = Quantidade de refrigeradores

Para estimação do conforto térmico foi calculado a priori a temperatura radiante média, considerando as diretrizes da norma internacional ISO 7726:1998. Em um primeiro momento é considerado se a convecção ocorreu naturalmente (Eq. 2) ou de modo forçado (Eq. 3). A equação com maior valor resultante define a fórmula para estimar a temperatura radiante média, sendo a equação 4 destinada a convecção natural e a equação 5 a forçada.

$$h_{cg} = 1,4 \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{D}} \quad [Eq.2]$$

$$h_{cg} = 6,3 \frac{v^{0,6}}{D^{0,4}} \quad [Eq.3]$$

$$tr = \sqrt[4]{(tg + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 \times \sqrt[4]{|tg-ta|} \times (tg-ta)} - 273$$

[Eq.4]

$$tr = \sqrt[4]{(tg + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 \times V^{0,6} \times (tg-ta)} - 273$$

[Eq.5]

Onde:

h_{cg} = coeficiente de troca de calor por convecção de globo (W/ (m² × K));

$\Delta T = t_g - t_a$;

D = diâmetro do globo (metros);

t_a = temperatura do ar (°C);

t_g = temperatura de globo (°C).

A predição do conforto térmico proporcionado pela ventilação noturna foi analisada através do modelo adaptativo de conforto térmico da ASHRAE - 55 (2017), sendo o seu cálculo realizado através do programa *CBE Thermal Comfort Tool*.

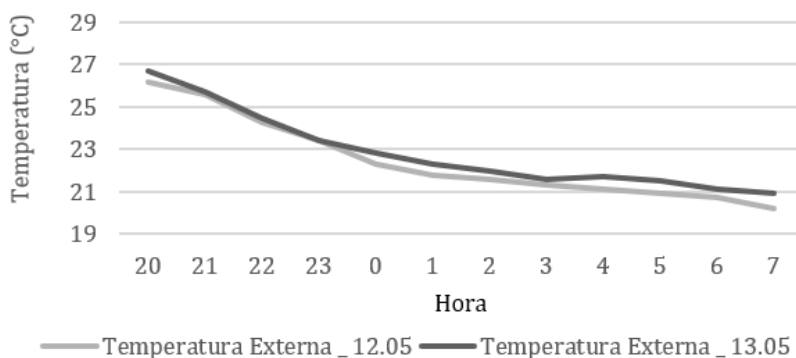
3 RESULTADOS

Os resultados serão apresentados seguindo a ordem: a) Edifícios residenciais; b) Edifício Institucional; c) Cálculo da economia de energia; e d) Conforto térmico com resfriamento convectivo noturno.

3.1 Edifícios residenciais

No edifício localizado em Campina Grande, as medições ocorreram nos dias 12 e 13 de maio de 2017, sendo o primeiro dia sem o uso da estratégia bioclimática (dia 12), e, portanto, com as esquadrias fechadas e o segundo (dia 13) com todas as esquadrias abertas. O clima externo se apresentou similar em ambos os dias (Figura 9), assim, as diferenças físicas internas mensuradas se devem, essencialmente, a redução da temperatura através da convecção. Os equipamentos foram instalados por volta das 19h30min e permaneceram ligados até às 07h00min.

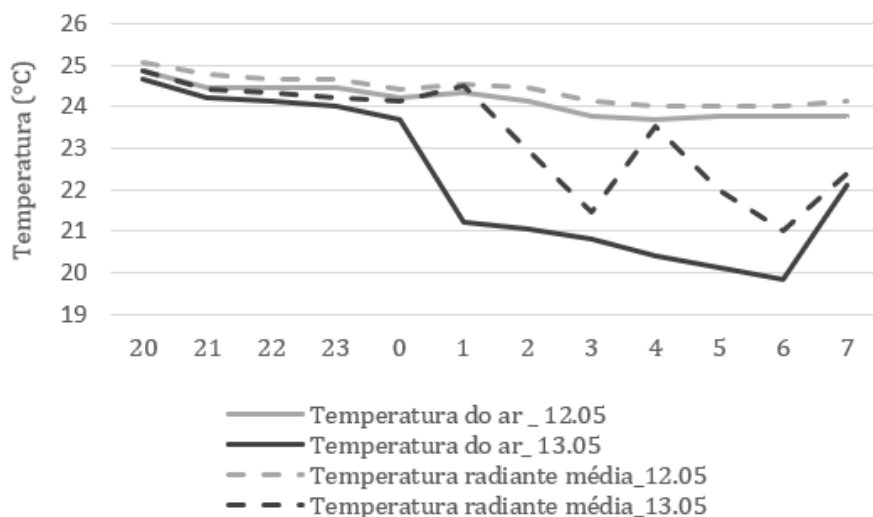
Figura 9 – Temperatura do ar na cidade de Campina Grande nos dias 12 e 13 de maio de 2017



De acordo com a Figura 10, observa-se que com a ventilação noturna obteve-se uma redução de até 3,5°C na temperatura do ar interna, o que representa percentualmente valores próximos a 15% em relação ao mesmo horário sem a ventilação. Os dados também apontam uma acentuada ascensão da temperatura do ar interna a partir das 06h00min, momento que se têm externamente a presença da radiação solar, com o consequente aquecimento das superfícies e o aumento da temperatura

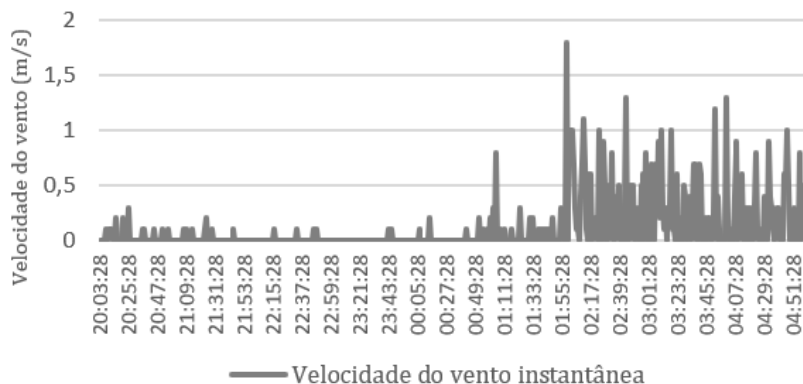
do ar. Analisando a temperatura radiante média em conjunto com a ventilação observada no ambiente (Figuras 10 e 11), especialmente no dia 13, se identifica o impacto da ventilação no resfriamento das superfícies internas.

Figura 10 – Temperatura do ar e Temperatura radiante média interna no edifício residencial em Campina Grande



Sobre o gráfico apresentado na Figura 11, com a velocidade do ar registrada na noite de 13 de maio, destaca-se que até 00h00min a ventilação foi bastante reduzida, acentuando-se a partir desse horário. O aumento da ventilação coincide com o incremento da redução da temperatura do ar e radiante no ambiente interno. A velocidade máxima registrada foi de até 1,8 m/s. A partir das 05h00min da manhã o sensor de velocidade do ar apresentou erro nas leituras e os dados subsequentes foram descartados.

Figura 11 – Velocidade do ar instantânea interna no edifício em Campina Grande no dia 13.05



Com o aumento da circulação do ar interno, verifica-se diminuição da temperatura do ar interna, a situação inversa também é verdadeira. Portanto, pode-se afirmar que no experimento realizado a Temperatura interna e a Velocidade do vento apresentaram associação negativa, comprovando assim a influência da remoção da energia térmica pela convecção e a eficácia dessa estratégia bioclimática.

É importante destacar que essa técnica pode reduzir as temperaturas internas de modo a causar desconforto por frio, como foi observado por Givoni (1992), o que possivelmente poderia ter acontecido na cidade de Campina Grande. Os dados obtidos nos ensaios realizados em Cabedelo apresentaram características gerais similares, entretanto, com uma menor redução na temperatura interna, atribuída a dois motivos:

a) A amplitude térmica da região é inferior àquela encontrada em Campina Grande. O que é esperado, pois Cabedelo é uma cidade litorânea de clima quente e úmido, enquanto Campina Grande, além de ser uma localidade continental, possui clima semiárido;

b) O dia 10 de maio teve temperaturas externas amenas, com a ocorrência de precipitação ao longo do dia, assim, a carga térmica acumulada foi inferior quando comparada ao dia 11 de maio. Consequentemente, o dia (10/maio), no qual não se fez uso da ventilação noturna, apresentou temperatura do ar externa inferior ao dia no qual foi empregada a estratégia bioclimática em estudo (11/maio), ver Figura 12. Assim, o efeito da ventilação noturna sobre a temperatura do ar interna, quando comparado com o dia sem ventilação noturna, foi menor.

Conforme pode ser observado na Figura 13, a temperatura interna do ar no dia 11 de maio às 20h00min se apresentou 0,6 °C superior ao do dia imediatamente anterior, sendo, ao longo de toda a madrugada, a temperatura externa do dia 10 de maio inferior ao do dia 11. Mesmo o dia 11 de maio apresentando uma maior carga térmica interna e uma maior temperatura externa, através da ventilação noturna foi possível retirar parte do calor acumulado e finalizar o ensaio com a temperatura do ar 0,3 °C inferior ao do dia 10 de maio. A temperatura radiante média apresentou resultado similar à temperatura do ar.

Diferente da ventilação observada no interior da edificação em Campina Grande, em Cabedelo (Figura 12) observou-se um comportamento mais uniforme na velocidade do ar, com pico às 00h16min. No intervalo entre 01h30min e 03h00min (medição denominada de 11 de maio) o anemômetro não registrou movimentação do ar no ambiente interno, fato que coincide com o aumento da temperatura externa (ver Figura 10). Estes dois fatores resultaram na elevação da temperatura interna (11 de maio) no intervalo entre 01h00min e 02h00min.

Figura 12 – Temperatura do ar na cidade de João Pessoa nos dias 10 e 11 de maio de 2017

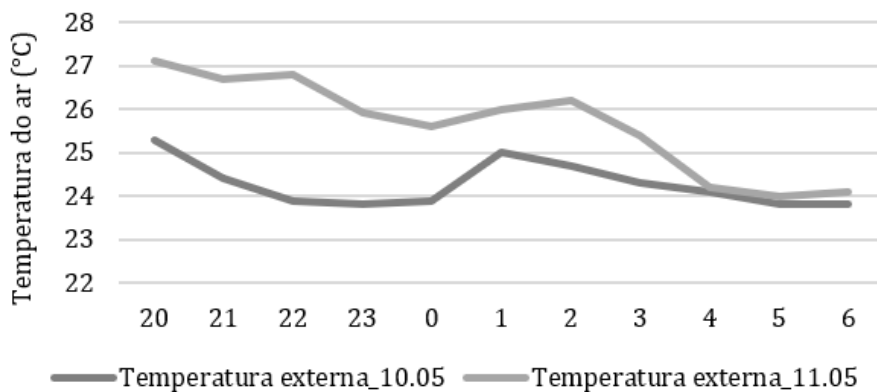


Figura 13 – Temperatura do ar e Temperatura radiante média interna no edifício residencial em Cabedelo

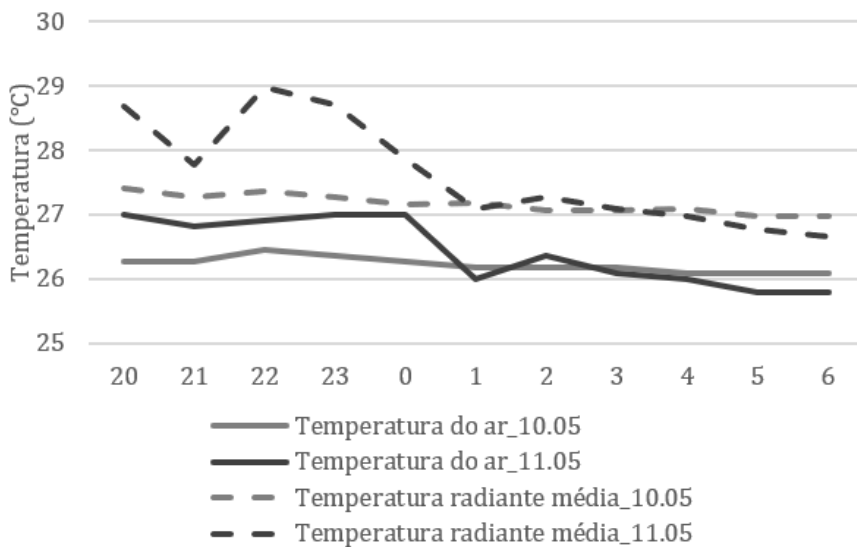
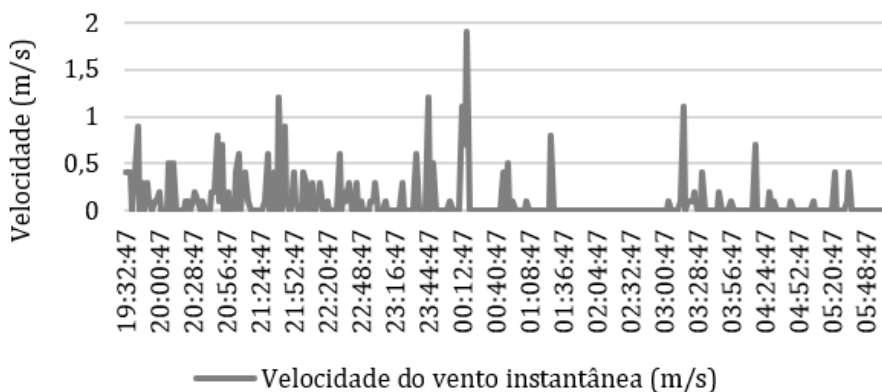


Figura 14 – Velocidade do ar instantânea interna no edifício em Cabedelo no dia 11/05

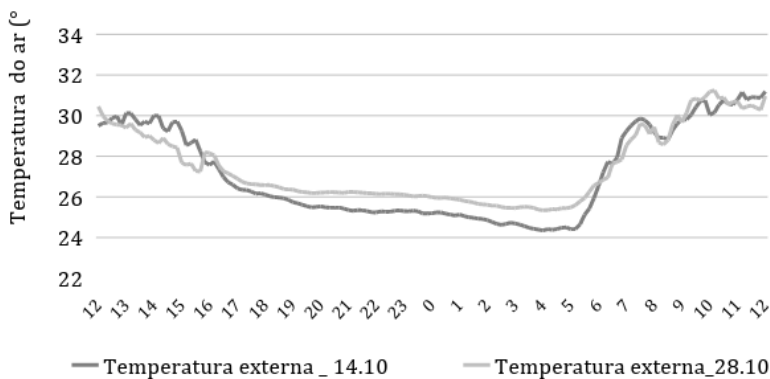


3.2 Edifício institucional

Na análise da ventilação noturna no ambiente interno (auditório) do edifício institucional, foram realizados dois ensaios, o primeiro compreende os dias 14 e 28 de outubro de 2017 e o segundo os dias 15 e 29 do mesmo período. Enfatiza-se que os dias 14 e 15 foram resfriados através da ventilação, enquanto os dias 28 e 29 as aberturas permaneceram fechadas. A similaridade da temperatura externa dos dias 14 e 28 e dos dias 15 e 29 foram comprovadas através do teste de hipótese *t de Student*, considerando o nível de significância de 0,05.

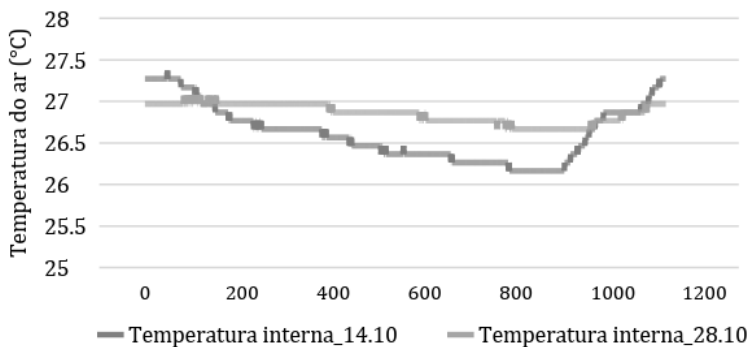
Pode ser observado na Figura 15 que as temperaturas externas nos dias 14 e 28 de outubro são análogas. As diferenças encontradas, portanto, decorrem principalmente da ventilação noturna. No dia 14 de outubro o auditório foi monitorado com as esquadrias abertas e no dia 28 as esquadrias estavam fechadas.

Figura 15 – Temperatura do ar na cidade de João Pessoa nos dias 14 e 28 de outubro de 2017

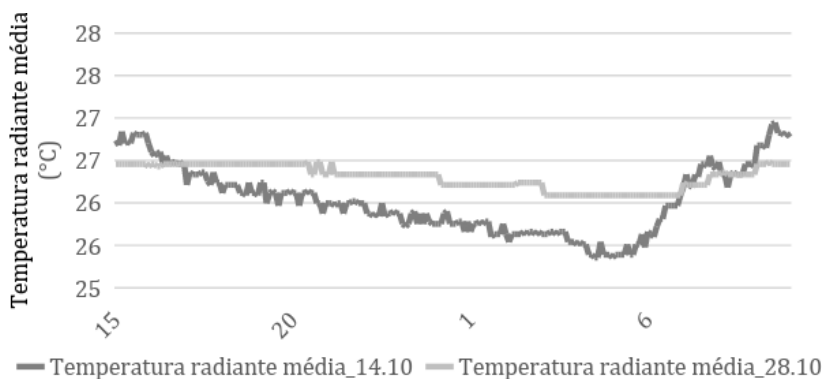


Identificou-se que em torno das 16h00min a temperatura interna com uso da ventilação natural ficou inferior em relação ao ambiente sem ventilação, o que induz a acreditar que esse seria um horário adequado para se iniciar a ventilação natural, embora seja necessário fazer mais experimentos para comprovar esta hipótese.

Figura 16 – Temperatura do ar interna (a) e Temperatura radiante média (b) no auditório em João Pessoa nos dias 14 e 28 de outubro de 2017



(a)



(b)

A maior diferença alcançada na redução da temperatura (0,5 °C, conforme pode ser visualizado na Figura 16) ocorreu por volta das 06h00min da manhã. Enfatiza-se que a estação meteorológica utilizada só consegue captar a velocidade do vento a partir de 0,4 m/s e durante este ensaio o equipamento não registrou ventilação, o que influencia a pequena diferença na temperatura do ar interna encontrada. Outro aspecto negativo é o percentual de abertura em relação ao piso, relativamente reduzido.

A temperatura radiante média interna dos dias 14 e 28 apresentou comportamento similar à temperatura do ar. No ensaio dos dias 15 e 29 de outubro de 2017, como pode ser visualizada na Figura 17, a temperatura do ar externa apresentou comportamento similar aquele observado nos dias 14 e 28. Assim como, no ensaio do dia 14 e 28 por volta das 16h00min, o ambiente ventilado apresentou menor carga térmica, quando comparado ao ambiente fechado.

A diferença máxima alcançada entre os dois dias foi de 0,51 °C por volta das 02h00min da manhã. Este valor permaneceu praticamente constante até as 06h00min, ver gráfico da Figura 18. O anemômetro

utilizado não registrou movimentação do ar (ventilação) durante o ensaio, e a temperatura radiante apresentou comportamento semelhante à temperatura do ar.

Figura 17 - Temperatura do ar na cidade de João Pessoa nos dias 15 e 29 de outubro de 2017

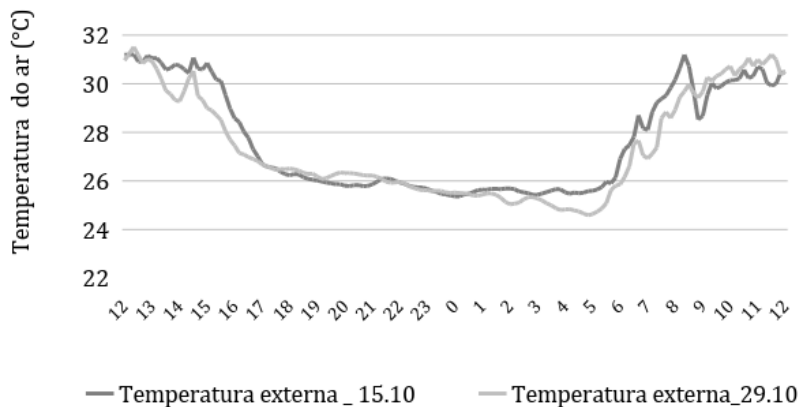
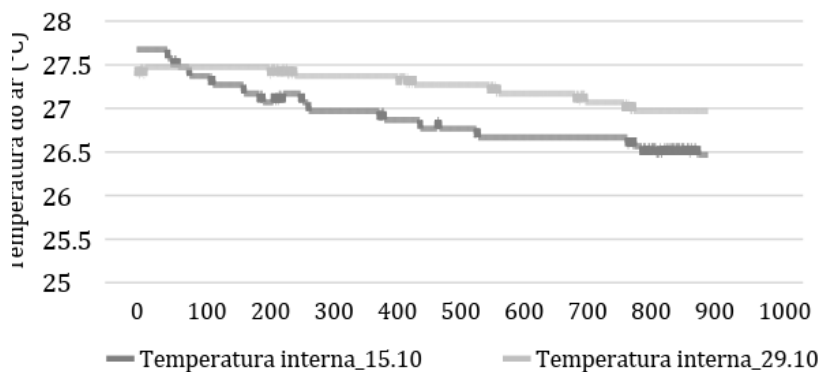
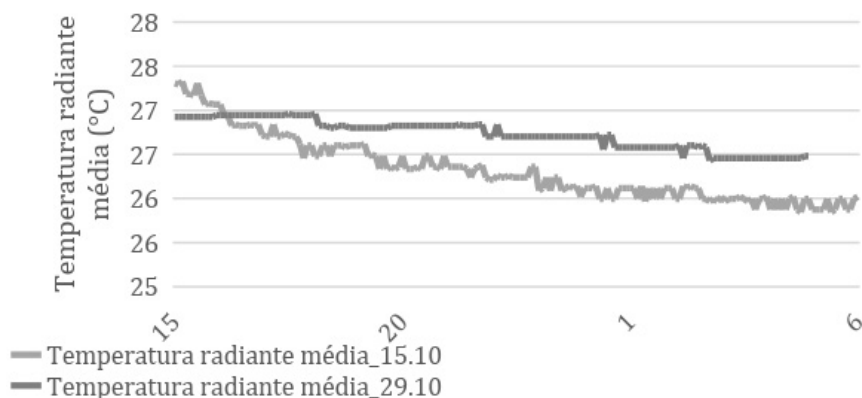


Figura 18 – Temperatura do ar interna (a) e Temperatura radiante média (b) no auditório em João Pessoa nos dias 15 e 29 de outubro de 2017



(a)



(b)

3.3 Cálculo da economia de energia

No dia 18 de setembro de 2018 foi realizado um ensaio para verificar o tempo necessário de funcionamento dos refrigeradores mecânicos, já instalados no auditório, para atingir a mesma redução (aproximadamente $0,5^{\circ}\text{C}$), obtida com o resfriamento convectivo. O sistema de condicionamento do ar foi acionado às 12h07min e a redução de aproximadamente $0,5^{\circ}\text{C}$ foi obtida às 12h15min. Assim, se considerou 08 minutos como intervalo temporal necessário para a obtenção do resfriamento desejado.

Tabela 1 - Resfriamento do auditório com auxílio de refrigeradores mecânicos

Mês/ Dia/ Ano Horário	Temperatura do ar (°C)
09/18/18 12h5min45s	27,8
09/18/18 12h6min45s	27,8
09/18/18 12h7min45s	27,8
09/18/18 12h8min45s	27,8
09/18/18 12h9min45s	27,7
09/18/18 12h10min45s	27,7
09/18/18 12h11min45s	27,6
09/18/18 12h12min45s	27,6
09/18/18 12h13min45s	27,5
09/18/18 12h14min45s	27,4
09/18/18 12h15min45s	27,2
09/18/18 12h16min45s	27,1
09/18/18 12h17min45s	26,9

Conforme dados contidos no selo da Procel, dos equipamentos de condicionamento de ar do ambiente em estudo, o consumo de energia (kWh/mês), com base nos resultados do ciclo normalizado pelo INMETRO, de 1 hora por dia por mês é de 132,8 kWh/mês. Considerando o mês base de 30 dias, a modalidade tarifária branca - baixa tensão, com TUSD (tarifa de uso do sistema de distribuição) acrescido da TE (Tarifa de energia), disposta na ENERGISA (2018), para serviços públicos, modalidade intermediária, como 0,70751, o custo aproximado, segundo a Equação 1, é de aproximadamente R\$ 601,1765 anuais.

3.4 Conforto térmico e resfriamento noturno

Com objetivo de avaliar o conforto térmico com o uso da ventilação noturna, foi calculado através do modelo adaptativo de conforto térmico da ASHRAE - 55 (2017) se a ventilação influenciaria na sensação de conforto. As análises da cidade de Cabedelo com os dados dos ensaios dos dias 10 e 11 apontaram que probabilisticamente os usuários do espaço sentiriam conforto com ou sem o resfriamento convectivo noturno.

As análises dos ensaios dos dias 12 e 13 realizados em Campina Grande apontaram uma maior probabilidade de desconforto térmico com a estratégia da ventilação noturna, derivado da sensação de desconforto por frio, conforme pode ser visualizado na Tabela 2. Atribui-se esse desconforto especialmente ao elevado nível de ventilação encontrado no ambiente.

Tabela 2 - Conforto térmico adaptativo em Campina Grande
13/05/2017 com a ventilação noturna

Hora	Ta (°C)	Va (m/s)	Trm (°C)	T comp. Mensal (°C)	Modelo Adaptativo
20	24,67	-	24,87	23,53	Conforto
21	24,24	0,00	24,44		Conforto
22	24,13	0,00	24,33		Conforto
23	24,01	0,00	24,23		Conforto
0	23,67	0,00	24,13		Conforto
1	21,20	0,20	24,51		Conforto
2	21,07	0,40	22,96		Conforto
3	20,80	0,00	21,47		Desconforto
4	20,40	1,30	23,55		Conforto
5	20,12	0,40	21,99		Desconforto
6	19,84	-	21,00		Desconforto
7	22,11	-	22,41		Conforto

4 CONCLUSÃO

É sabido que a ventilação natural proporciona a renovação do ar, o conforto térmico e contribui para a eficiência energética da edificação. A ventilação noturna, promovida quando o edifício não está sendo utilizado, é uma estratégia especialmente indicada para o clima quente e seco, objetivando o resfriamento da edificação. Enquanto, a ventilação natural no clima quente e úmido é indicada como estratégia promotora do conforto, sem potencial para resfriamento da edificação (LECHNER, 2014). Se contrapondo a esta ideia Kubota, et al. (2009) demonstrou que a ventilação noturna consegue reduzir substancialmente a temperatura do ar, a temperatura operativa e o SET no clima quente e úmido. Assim, esta pesquisa, buscou analisar o potencial da ventilação natural no período noturno como dissipador do calor no clima quente e úmido e no semiárido.

Como objeto empírico se estudou a influência da ventilação noturna no setor residencial e institucional. Para o setor residencial foram adotados dois dormitórios situados em edifícios com material construtivo similar. Em ambos os casos se observou através de anemômetros a presença de ventilação cruzada. O primeiro edifício residencial está situado na cidade de Cabedelo-PB (clima quente e úmido), e o segundo edifício se encontra na cidade de Campina Grande-PB (semiárido). A amostra institucional consistiu no auditório do bloco de Multimídias da Universidade Federal da Paraíba, em João Pessoa.

No ambiente localizado em Campina Grande se observou que com o aumento da circulação do ar interno, ocorreu a diminuição da temperatura do ar e da temperatura radiante. Portanto, pode-se afirmar que no experimento realizado a Temperatura interna e a Temperatura radiante média apresentaram associação negativa em relação a Velocidade do vento, comprovando assim a influência da remoção da energia térmica

pela convecção e a eficácia dessa estratégia bioclimática no clima do semiárido, como observado frequentemente na literatura. Os dados obtidos apontaram ainda a probabilidade de desconforto térmico por frio, com a estratégia da ventilação noturna no clima semiárido. A significativa diminuição da temperatura embasa o uso desta técnica como promotora do resfriamento estrutural. O desconforto por frio pode ser evitado com o controle da abertura pelo usuário.

Os ensaios em Cabedelo foram realizados em dias com condições climáticas distintas. O dia adotado para o uso da convecção noturna foi, proporcionalmente, mais quente que o dia em que não se utilizou a ventilação noturna. Contudo, ainda assim, foi observado redução da temperatura interna ao longo do período noturno, o que sugere esta estratégia como, além de promotora do conforto térmico, um método de resfriamento da edificação. A análise do modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 2017 indicou que independente da ventilação no período noturno, probabilisticamente os ocupantes estariam em aceitabilidade térmica.

Na análise da ventilação noturna no ambiente interno do edifício institucional foram adotados ensaios de 72 horas. Os experimentos apontaram que a quantidade de calor removido pelo fluxo de ar depende da diferença de temperatura entre o interior e o exterior, sendo o pico da diferença verificado em torno das 05h00min e 06h00min da manhã. Identificou-se que em torno do horário das 16h00min o ambiente ventilado apresentou menor carga térmica, quando comparado ao ambiente fechado, o que induz a acreditar que esse seria um horário adequado para se iniciar a ventilação natural. Mesmo com o percentual de abertura efetiva em relação à área de piso reduzido (menos de 4%) e não tendo sido registrado em nenhum dos ensaios ventilação igual ou superior a 0,4 m/s, foi possível estimar uma economia média (anual) de energia em torno de R\$ 600,00 reais (em torno de U\$ 150,00), para o ambiente em análise.

Os resultados desse estudo evidenciam que a ventilação noturna é uma estratégia que pode contribuir para a redução do consumo de energia das edificações, mesmo no clima quente e úmido, sendo esta redução mais intensa no clima semiárido.

REFERÊNCIAS

ALCOFORADO, Maria João. **Alguns aspectos da bioclimatologia: o clima e o organismo humano.** Centro de estudos geográficos, Universidade de Lisboa, setembro de 2001.

ASHRAE (2017). **ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal environmental conditions for human occupancy.** American Society of Heating, Refrigeration and Air-Condition Engineers, Inc. Atlanta, EUA. ISSN 1014-2336.

DE DEAR, et al.. **Progress in thermal comfort research over the last twenty years.** Singapura: Indoor Air, v. 23, p. 442-461, abr. 2013.

DE VECCHI, Renata. **Avaliação de conforto térmico em edificações comerciais que operam sob sistemas mistos de condicionamento ambiental em clima temperado e úmido.** Florianópolis, 2015. 237 pag. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

ELETROBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: classe Residencial Relatório Brasil - Sumário Executivo.** Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2009.

FANGER, P. O. Assessment of man's thermal comfort in practice. **British Journal of Industrial Medicine**, v. 30, 1973.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo.** 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. ISBN: 85-85445-39-4.

GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, p. 11-23, 1992.

GIVONI, Baruch. **Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems**. Energy and Buildings. v. 17, p. 177-199, 1991.

HOLLMULLER, et al. **Potencial da ventilação inercial para resfriamento passivo em climas brasileiros**. ENCAC, ELACAC, Maceió, 2005.

LAMBERTS, et al.. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Eletrobrás/ Procel, v.3, 2014.

LECHNER, Norbert. **Heating, cooling, lighting : sustainable design methods for architects**. Wiley, 4, 2014, ISBN 978-1-118-58242-8.

ONS. **Plano da operação energética 2017/2021 PEN 2017. Sumário Executivo**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/RE-3-0108-2017_PEN2017_SumarioExecutivo.pdf. Acesso: 07 de abril de 2018.

VEJA. **Ar-condicionado vira novo vilão para consumo de energia**. Veja, economia, 2015. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/economia/ar-condicionado-vira-novo-vilao-para-consumo-de-energia/>. Acesso: 07 de abril de 2018.

Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. **ISO 7726:1998(E)**, Edição 2, Suíça, 1998.

ENERGISA. **Tipos de Tarifa**. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>. Acesso em 10 de outubro de 2018.

KUBOTA, et al. **The effects of night ventilation technique on indoor thermal environment for residential buildings in hot-humid climate of Malaysia**. Energy and Buildings, v. 41, p. 829-839, 2009.

Aberturas para a educação: proposta de um sistema de captação de luz e ventilação natural em salas de aulas

*Luana Maria de Medeiros Quirino
Yasmin Vaz Cavalcanti Pereira
Solange Maria Leder*

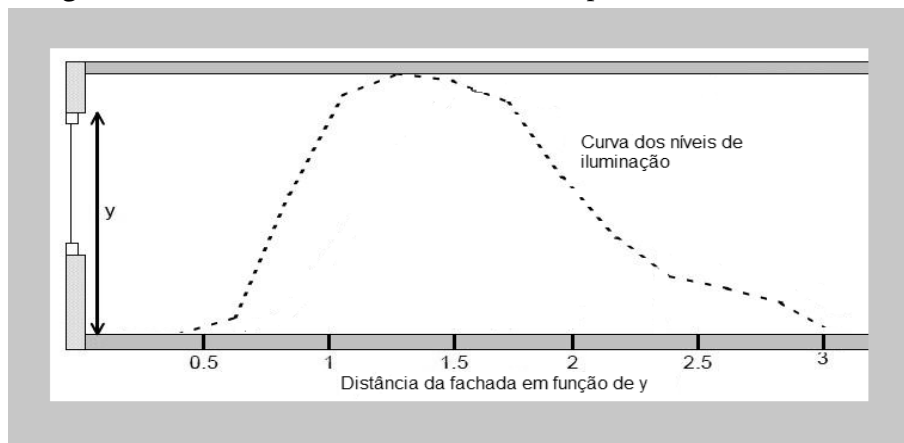
1 INTRODUÇÃO

A luz natural, uma fonte gratuita e renovável, é abundante, especialmente em países tropicais. Globalmente, quase um 1/5 do montante da energia elétrica produzida é consumido com a iluminação artificial (EART POLICY INSTITUT, 2010). Ao se negligenciar a luz natural, renuncia-se uma economia de energia elétrica que pode chegar até 80% (BODART; DE HERDE, 2002), além de inúmeros benefícios fisiológicos e psicológicos que a mesma proporciona. Logo, o aproveitamento da luz natural é uma solução eficiente e imprescindível à saúde, contudo, requer um projeto arquitetônico detalhado.

Distribuição não homogênea, níveis em excesso ou insuficientes são problemas recorrentes no aproveitamento da iluminação natural. A janela lateral, uma opção comumente utilizada, tem a desvantagem de apresentar elevados níveis de iluminação natural em sua proximidade e baixos níveis no fundo da sala. O alcance da luz natural, neste caso, depende da altura da janela e da profundidade do ambiente. Aberturas

laterais podem iluminar naturalmente um ambiente interno até uma profundidade de 1,5 a 2,0 vezes a altura da janela, acima do piso (REINHART, 2005), Figura 1.

Figura 1 - Curva dos níveis de iluminação a partir da abertura lateral



Fonte: Adaptado de Reinhart, 2005

Outro problema é o excesso de iluminação, causador de ofuscamento, reflexões, brilho ou contrastes excessivos que, além da redução da eficácia visual, provocam desconforto físico (HEERWAGEN e DIAMOND, 1992). A resposta dos usuários diante do desconforto ou da dificuldade em realizar suas tarefas é a rejeição do sistema, as pessoas acabam reduzindo ou eliminando a contribuição da luz natural, com cortinas ou outros anteparos improvisados (BOYCE, HUNTER e HOWLET, 2003), desperdiçando assim os benefícios da luz natural. Níveis excessivos também estão associados à presença de luz solar direta no ambiente interno, o que resulta em desconforto térmico nos períodos de calor.

Como forma de suprir as limitações da abertura unilateral, uma solução recomendada é a criação de aberturas na parede oposta que

permite também uma ventilação cruzada constante. No caso de escolas, essa solução pode-se tornar um problema, visto que, geralmente, nas salas de aula a parede oposta à abertura voltada para o exterior é a divisória entre a sala e a circulação. Assim, a ventilação que entra na sala conduz também ruído, gerando conflitos acústicos. Níveis impróprios de ruídos em salas de aula tem efeito nocivo na percepção oral, na leitura, na atenção e na concentração dos estudantes (ASHA, 2003). Desse modo, é necessário que as aberturas tenham o menor contato possível com outras fontes de ruído, sendo os dutos individualizados uma estratégia adequada.

Os dutos de iluminação voltados para o zênite são aberturas zenitais que melhoram a distribuição da luz natural no ambiente e reduzem o contraste. Variáveis como o comprimento, a largura, a altura e o coeficiente de reflexão interno são determinantes para o seu potencial de iluminação (BAKER e STEMMER, 2002; LAM, 1986; ROBBINS, 1986).

A qualidade de vida proporcionada pelo uso da luz natural para seus usuários é, com certeza, equivalente a economia de energia. A luz natural é o mais importante estímulo ambiental de regulação do sistema circadiano. Ela incide sobre o nosso ânimo e comportamento, regula nosso relógio biológico e a produção de elementos vitais, como a vitamina D. A exposição à luz solar, mesmo através do vidro, elimina vírus e bactérias e é útil, especialmente no inverno, quando a incidência de infecções respiratórias é maior. Em ambientes ocupados por crianças, como o ambiente escolar, questões relacionados com a saúde e associadas à luz natural como: a melhora da visão, a redução da miopia e da tensão ocular, o estímulo ao desempenho cognitivo, a redução de distúrbios como o déficit de atenção e a hiperatividade (BOUBEKRI, 2008; VEITCH e GALASIU, 2012; ARIES et al, 2015), não podem ser desprezados, afinal refletem na qualidade do aprendizado.

Na arquitetura escolar dois tipos de plantas são recorrentes: a) sala-corredor e b) sala-corredor-sala (Figura 2). Esses tipos são predominantemente utilizados em projetos de escolas térreas ou com dois pavimentos.

A iluminação natural em salas de aula é por meio de aberturas unilaterais que, frequentemente, apresentam os dois problemas já relatados, comuns em sistemas convencionais de iluminação natural. Aberturas altas, na parede entre a sala e o corredor também são usuais, sendo projetadas para promover a ventilação cruzada e contribuindo, em algumas situações, para uma melhor distribuição da luz.

Bem como a iluminação natural, a ventilação natural é também um recurso de extrema relevância para o conforto ambiental e a eficiência energética do edifício: promove a troca do ar, a redução da umidade, o conforto térmico dos usuários e o resfriamento da edificação. O bom desempenho da mesma depende do desenho apropriado das aberturas do edifício, que deve estar de acordo com o clima local. Para favorecer a ventilação natural é importante atender a algumas exigências como: aberturas localizadas em paredes opostas, que permitem a ventilação cruzada; aberturas na direção do vento e, quando possível, aberturas em diferentes alturas (SERRA, 1999; HERTZ, 1998).

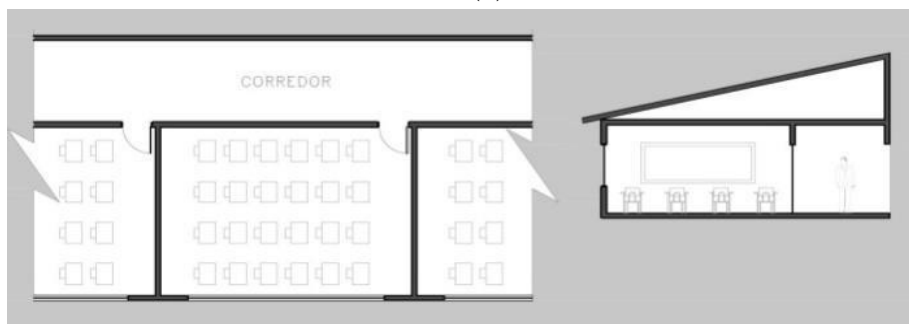
Com a situação existente em salas de aula: aberturas laterais, dispostas de forma unilateral ou bilaterais - uma abertura voltada para o exterior e aberturas altas voltadas para o corredor - permitem a ventilação cruzada sendo que, a primeira só é possível ao manter a porta aberta, já a segunda favorece uma ventilação cruzada constante. Porém, é necessário prudência ao conceber aberturas voltadas para o corredor, pois estas podem ocasionar problemas acústicos.

A escola não pode se limitar a educar apenas através do discurso pedagógico, ela própria, como lugar, deve fazer parte do processo educacional. Proporcionando condições ambientais favoráveis

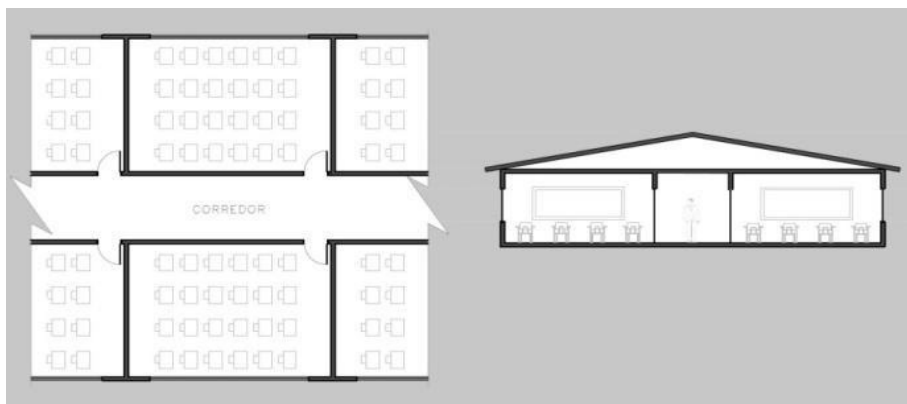
ao aprendizado, tanto na dimensão cognitiva quanto fisiológica. As aberturas, como elementos arquitetônicos, através dos quais se estabelece a relação entre o espaço interno e o externo tem papel preponderante nesse processo. A visão do ambiente externo também contribui para o bem-estar, particularmente se estiver associada à natureza ou uma paisagem atraente. Preferencialmente a linha do horizonte deve estar visível, evitando-se a separação entre céu e elementos do entorno construído ou natural. As recomendações da norma britânica (BS 8206:2008) priorizam: a visão do exterior, a aparência do ambiente interno e a iluminação da tarefa. Em relação à visão do exterior, a altura da abertura deve ser superior à altura de uma pessoa em pé enquanto o peitoril deve ter altura inferior à altura dos olhos de uma pessoa sentada. Em ambientes direcionados às crianças (creches, etc) a altura do peitoril deve ser adequada à altura das mesmas.

Assim, a partir dos dois tipos de planta recorrentes na arquitetura escolar contemporânea: a) planta tipo sala - corredor; b) planta tipo sala - corredor - sala (Figura 2) foi desenvolvido um sistema composto de abertura lateral e dutos que, além da iluminação natural, possibilitam a ventilação cruzada de forma independente evitando os conflitos acústicos.

Figura 2 – Planta tipo sala – corredor (a) e Planta tipo sala – corredor – sala (b)



(a)



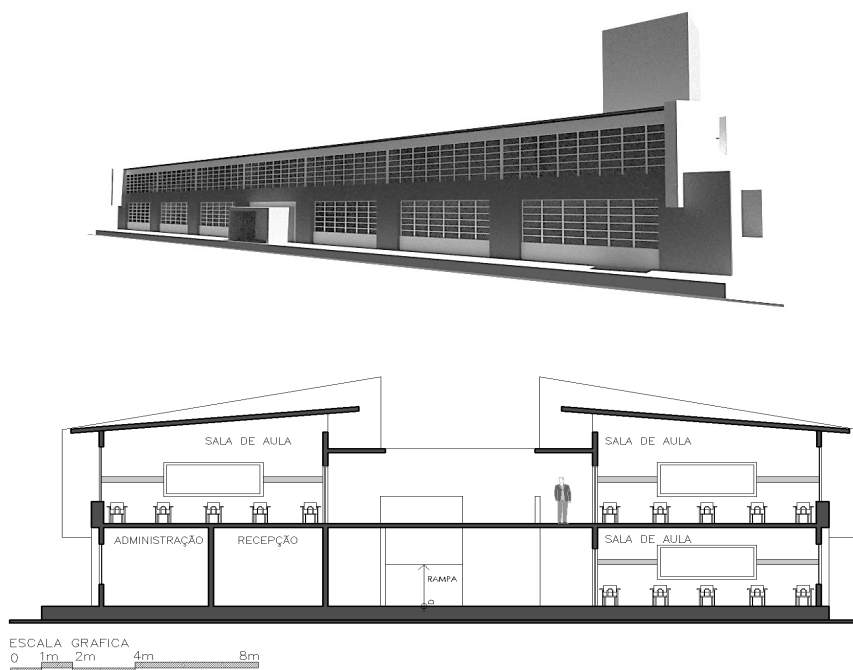
(b)

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de iluminação natural e ventilação cruzada desenvolvido nessa pesquisa tem como base as dimensões e a geometria adotadas em um projeto padrão de escola da Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP), Figura 3. A edificação tem dois pavimentos e planta regular alongada, com as maiores fachadas voltadas para norte e sul. A concepção e definição do sistema compreenderam as seguintes etapas: a) estudos de sombreamento e da visão do exterior com o *SketchUp* (Figura 4); b) simulações da iluminação natural com o programa Daysim sendo realizadas com os dados climáticos de João Pessoa (latitude 7°S).

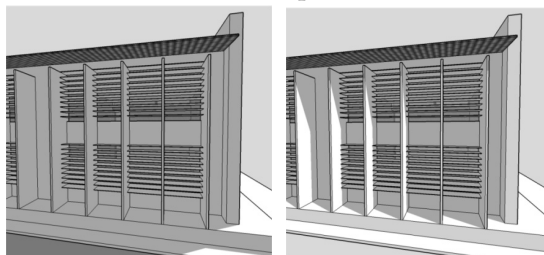
A dimensão da sala de aula no térreo é 7,05 x 7,05 metros e no pavimento superior é 6,45 x 7,05 metros. A largura da janela é 5,55 metros. A altura do peitoril da abertura lateral é de 0,6 metros, tendo esta sido definida considerando a altura da cabeça de uma criança sentada.

Figura 3 – Projeto da escola padrão da PMJP: Perspectiva e corte



No estudo do sombreamento com o Sketchup, as simulações foram realizadas nos solstícios de inverno e verão, em intervalos de uma hora ao longo do dia com o intuito de identificar a presença de radiação solar direta no interior da sala de aula. Já no estudo da visão do exterior, realizado com o mesmo programa, foram geradas vistas externas (Figura 4) e internas para a definição dos ângulos da proteção solar do brise externo. O impacto da proteção solar na obstrução da visão do exterior foi analisado através de perspectivas internas a partir de um ponto de observador localizado a 0,95 metros do piso - que corresponde à altura da visão de uma criança sentada (PANERO; ZELNIK, 2002).

Figura 4 - Estudo de insolação da proteção solar com o SkechtUp



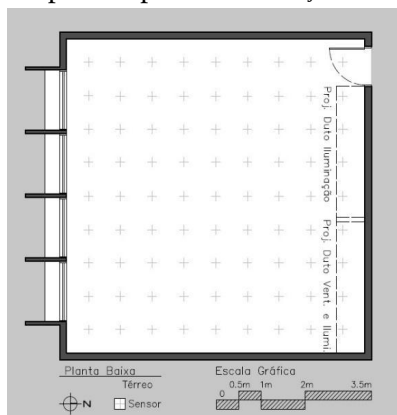
As simulações da iluminação natural foram realizadas com o programa *Daysim*. Neste, o montante anual da luz do dia, em um espaço, é quantificado através das métricas dinâmicas derivadas dos perfis anuais de iluminância de hora em hora, que são gerados usando um arquivo de clima local (epw). Um modelo tridimensional deve ser inserido, assim como: a descrição dos materiais do edifício e dados do entorno da edificação.

O nível de iluminância adotado foi de 300 lux conforme indicação da NBR ISO/CIE 8995-1. As simulações foram realizadas com o arquivo climático de João Pessoa (latitude 7°S). O horário estabelecido foi das 07h00min às 17h00min, totalizando uma rotina de 10 horas por dia. Os coeficientes de reflexão das superfícies internas foram: piso com 0,30; paredes com 0,60, forros e superfícies brancas com 0,70. Para cada sala de aula foi elaborada uma malha de pontos com as coordenadas dos sensores de iluminância no plano de trabalho (Figura 5). Os pontos foram definidos a partir das recomendações da NBR 15215-4/ 2005, distanciados 0,5 m da parede, locados a 0,8 m do piso e com um espaçamento de 0,73 m entre os sensores, que resulta em uma malha com 91 pontos.

A análise do desempenho lumínico foi realizada tendo como parâmetro a Iluminância Útil da Luz Natural (IULN). Os níveis de iluminação foram agrupados nos intervalos: a) abaixo de 100 lux; b) entre 100 e 2000 lux e; c) acima de 2000 lux, sendo o intervalo entre 100 e 2000 desejável. Adotou-se como critério de análise a recomendação de Reinhart (2005), segundo esta, os níveis de iluminação natural devem ter mais da metade do ambiente com a IULN no intervalo de 100

a 2000 lux. Também foi utilizado o critério do programa de certificação do Green Building Council dos Estados Unidos - Leadership in energy and environmental design (LEED) adotado para a análise do desempenho da iluminação natural: a Autonomia Espacial da Luz Natural (AeLN) e a Exposição anual à luz Solar (EALs). O parâmetro AeLN consiste na identificação das iluminâncias acima de 300 lux e abaixo de 1000 lux, que devem atingir um número de horas, ao longo do ano, de no mínimo 50%. O nível de iluminância de 300 lux atende também a indicação da NBR ISO/CIE 8995-1. O EALs está associado às iluminâncias acima de 1000 lux, a iluminação no ambiente será considerada eficiente se o EALs não ultrapassar o limite de 10% das horas do ano.

Figura 5 - Malha de pontos para a simulação da iluminação natural



3 RESULTADOS

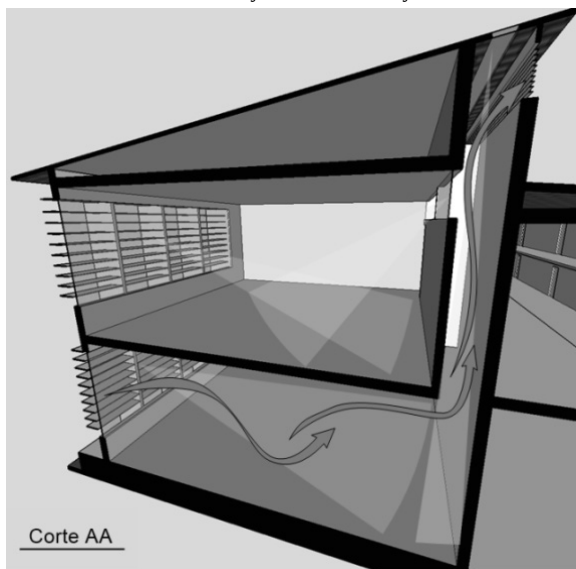
Os resultados deste trabalho serão apresentados na seguinte sequência: a) detalhamento do sistema de iluminação e ventilação natural; b) desempenho do sistema proposto. O desempenho do sistema proposto será apresentado em relação aos seguintes aspectos: iluminação natural e visão do exterior.

3.1 Iluminação e ventilação natural

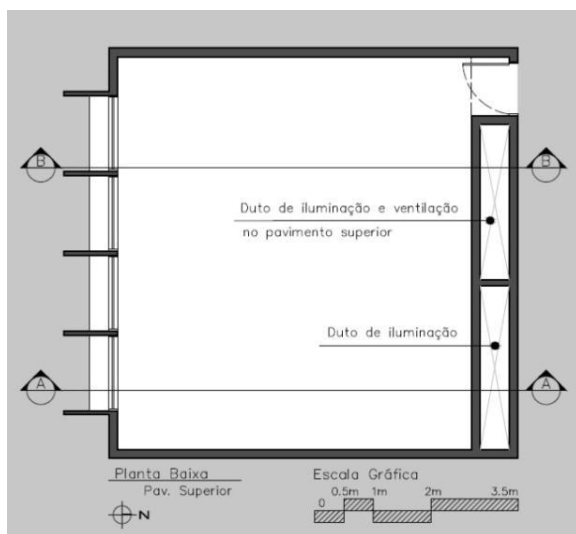
O principal elemento proposto neste trabalho consiste em um duto de iluminação zenital inserido na parede do fundo da sala (adjacente ao corredor). Este duto, em conjunto com a abertura lateral, na parede oposta, além de melhorar a iluminação natural permite a ventilação cruzada nas duas possibilidades de planta em análise: sala-corredor e sala-corredor-sala, tanto em um edifício térreo, quanto com dois pavimentos. Para o edifício, objeto de estudo deste trabalho, que possui dois pavimentos, dois dutos, com 0,50 m de largura e 2,92 m de comprimento servem de caminhos para a iluminação e ventilação natural das salas de aula - uma no térreo, outra no pavimento superior. Os dois dutos iluminam naturalmente (abertura zenital) as salas, porém, somente um deles permite a ventilação natural, que é exclusiva para cada sala, ver Figura 6 e 7. A altura total do duto é de 4,26 m, até a saída do ar próxima ao telhado. A abertura de saída do ar (no telhado) tem 0,50 m de altura. As paredes internas do duto possuem coeficiente de reflexão de 70%. A cobertura do duto (iluminação zenital) é com material translúcido, com 0,55 de transparência e 0,25 m de largura.

Tanto a ventilação quanto a iluminação podem ser controladas nos dutos. A dimensão da abertura zenital, com material translúcido (Figuras 6 e 7), pode variar, de acordo com o clima do local. A ventilação natural é contínua, em locais de clima quente e úmido e baixas latitudes, enquanto, em localidades com baixas temperaturas e inverno, esta pode ser controlada ou interrompida. Além do duto, o sistema inclui, ainda, a abertura lateral, com peitoril de 0,60 metros, 2,0 metros de altura e 5,50 metros de largura. Vidro do tipo claro com espessura de 3 mm e 0,85 de transmissão e um sistema de proteção solar composto de elementos horizontais e verticais fixos (Figura 8).

Figura 6 – Corte AA (a) e planta baixa do piso superior(b): duto de iluminação e ventilação

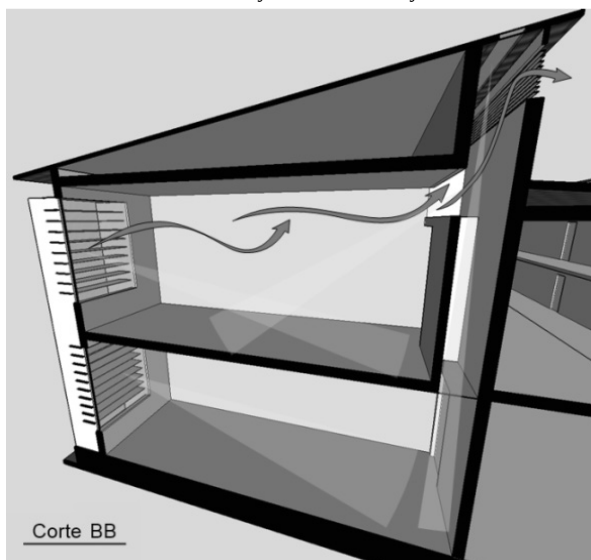


(a)

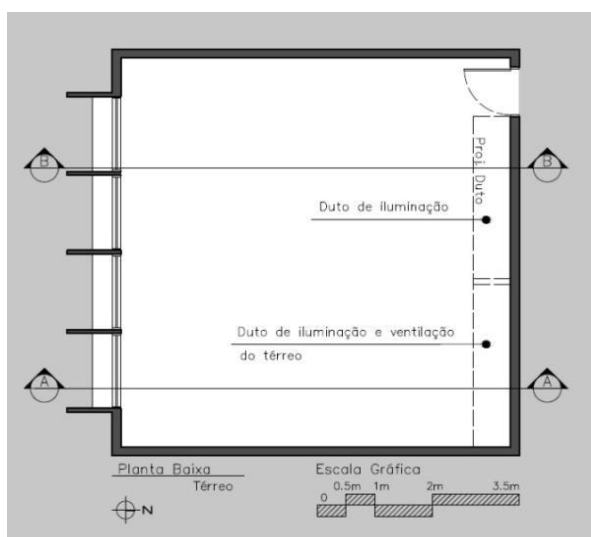


(b)

Figura 7 – Corte AA (a) e planta baixa do piso térreo(b): duto de iluminação e ventilação

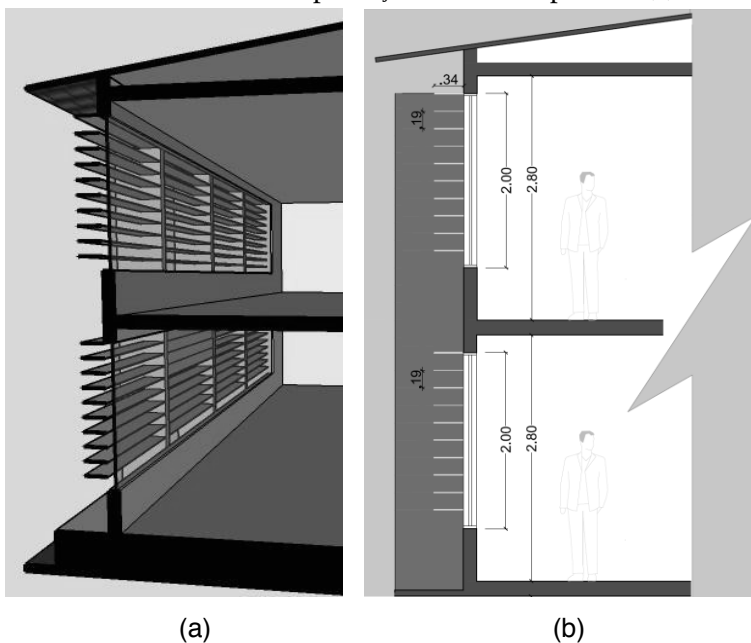


(a)



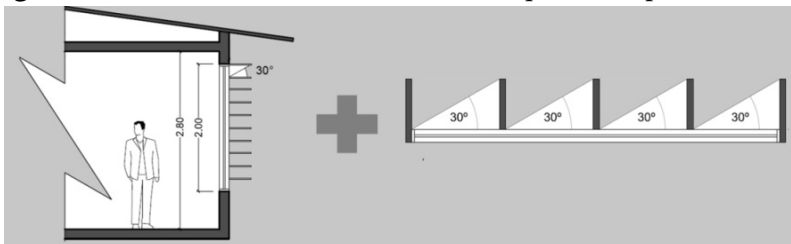
(b)

Figura 8 – Abertura lateral e proteção solar: Perspectiva (a) e corte (b)



Na concepção do sistema de proteção solar priorizou-se o emprego de dois tipos de materiais: placas planas de fibrocimento ou de argamassa armada, materiais de baixo custo que podem ser facilmente obtidas no comércio local (chapas de fibrocimento) ou podem ser fabricados no canteiro (placas de argamassa armada). A opção por um sistema fixo deve-se a uma maior economia de manutenção. Os ângulos de proteção solar são de 30° , tanto o ângulo horizontal - em planta, quanto o ângulo vertical - em corte, ver Figura 9, estes, foram definidos com o auxílio da simulação da insolação. A partir dos ângulos de proteção solar o sistema de proteção solar desenvolvido pode apresentar desenhos distintos, mantendo o desempenho desejado e permitindo variedade das soluções arquitetônicas. Assim, cada escola pode ter um aspecto diferenciado.

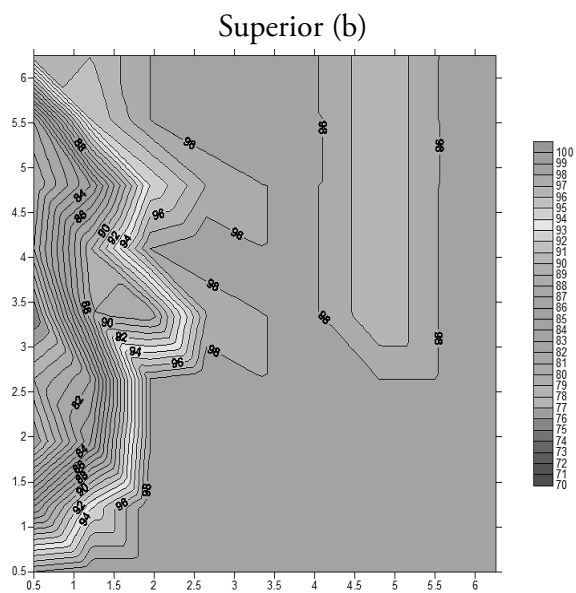
Figura 9 - Corte da abertura lateral com esquema da proteção solar



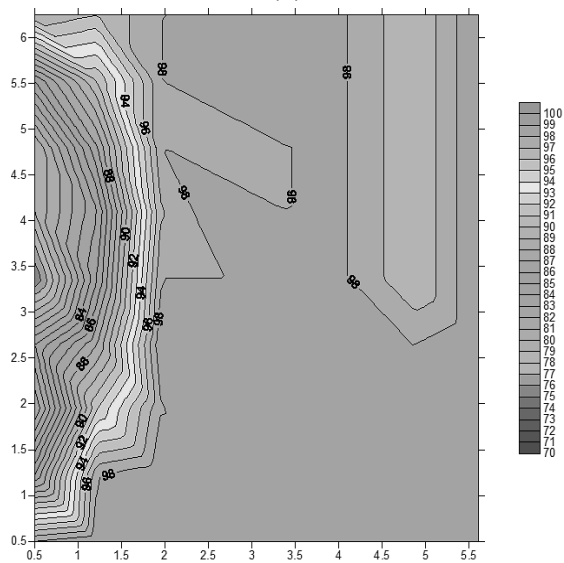
3.2 Desempenho da iluminação natural e do controle do ofuscamento

Sobre o desempenho da iluminação natural, a IULN no intervalo de 100 e 2000 lux, em 100% das salas é superior a 70% do ano. Nos dois pavimentos, térreo e superior, e nas orientações norte e sul, o sistema desenvolvido apresenta níveis adequados de iluminação e de distribuição, como pode ser observado nos gráficos com isolinhas apresentados na Figura 10.

Figura 10 - Isolinhas da IULN 100 a 2000 lux - Térreo (a) e Pav



(a)



(b)

Em relação aos resultados obtidos com os parâmetros AeLN e EALs: o AeLN é 57,8%, o que caracteriza um desempenho satisfatório da iluminação natural, enquanto o EALs, de 16,8%, excede o limite de 10%, apontando a necessidade de redimensionamento do sistema de controle da luz natural. O sistema de iluminação natural proposto pode atender às exigências estabelecidas pelo programa de certificação do *Green Building Council* dos Estados Unidos - *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), sendo necessário um ajuste no sistema de proteção solar para reduzir o valor de EALs.

3.3 Visão do exterior e proteção solar

O impacto da proteção solar na visão do exterior foi analisado através de perspectivas internas a partir de um ponto de observador localizado a 0,95 metros do piso - que corresponde à altura da visão de uma criança sentada (PANERO; ZELNIK, 2002). A partir dos ângulos de proteção (horizontais e verticais) utilizados foram desenvolvidas algumas variações no sistema de proteção solar que podem ser utilizadas para que as escolas possam ter um aspecto arquitetônico diversificado. Algumas variações estão exemplificadas nas Figuras 11 a 13.

Figura 11 - Combinação 1: Esquema em planta, corte, perspectiva externa e interna

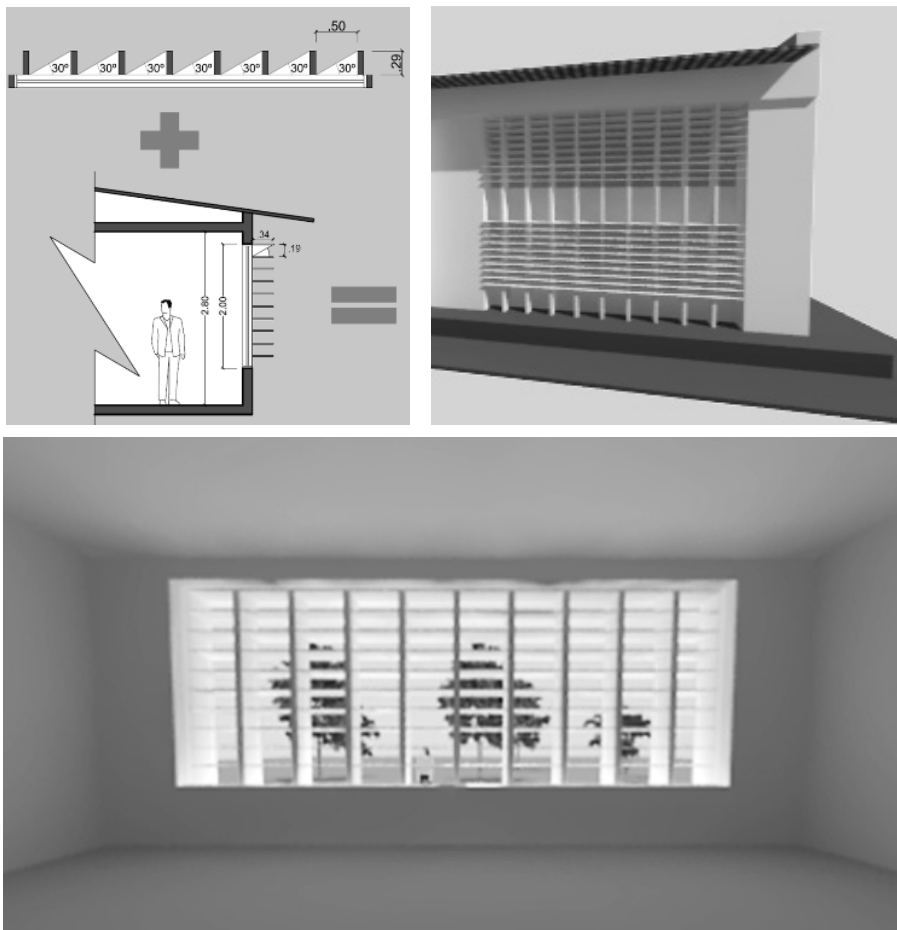


Figura 12 - Combinação 2: Esquema em planta, corte, perspectiva externa e perspectiva interna

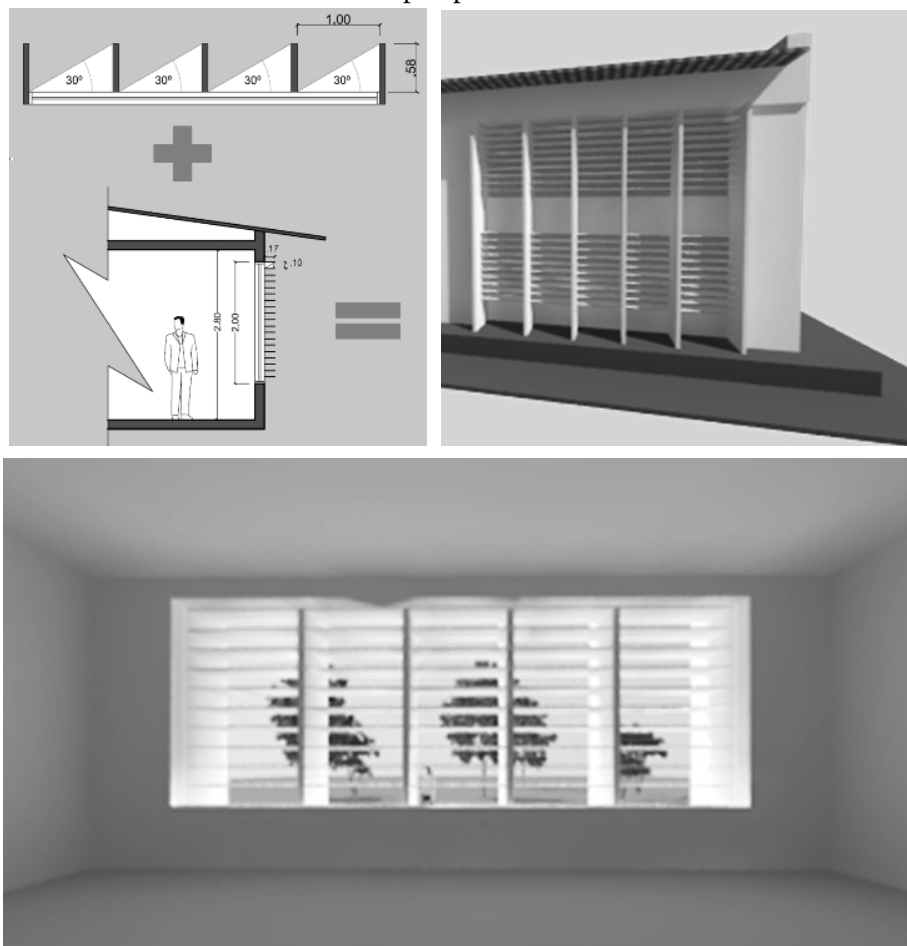
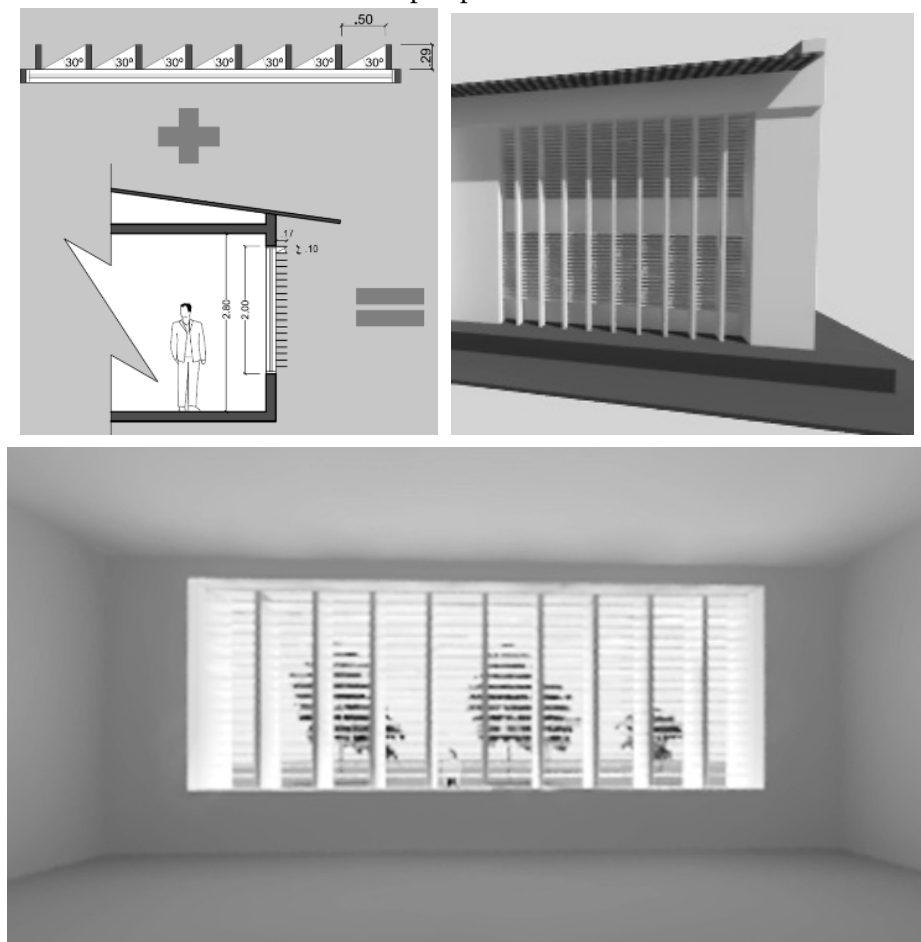


Figura 13 - Combinação 3: Esquema em planta, corte, perspectiva externa e perspectiva interna



4 CONCLUSÃO

O sistema desenvolvido neste trabalho possibilita: a visão e o contato com o ambiente externo, a iluminação natural e a ventilação

cruzada. O desempenho do sistema proposto apresentou Iluminação Útil da Luz Natural (IULN), no intervalo de 100 a 2000 lux, superior a 70% do ano, em 100% do ambiente. Nos dois pavimentos, térreo e superior, e nas orientações norte e sul, o sistema desenvolvido apresenta níveis de iluminação adequados ao uso previsto, assim como, estes estão bem distribuídos. A Autonomia Espacial da Luz Natural (AeLN) é superior a 57,8%, o que também caracteriza um desempenho satisfatório da iluminação natural. Em relação à Exposição anual à luz Solar (EALs) o limite de 10% é excedido, aspecto que pode ainda ser melhorado com o ajuste no sistema de proteção solar. Assim, considerando os resultados obtidos com os parâmetros AeLN e EALs, o sistema de iluminação natural proposto neste trabalho pode atender às exigências estabelecidas pelo programa de certificação do *Green Building Council* dos Estados Unidos - *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). Os estudos de visão do exterior através de perspectivas internas permitem afirmar que a relação interior-exterior, fundamental para o conforto psicológico necessário ao aprendizado, é assegurada pelo sistema proposto. As possibilidades de variação da fisionomia arquitetônica dos edifícios, através de diferentes arranjos geométricos do sistema de proteção solar das janelas, de que foram vistos alguns exemplos, possibilitam superar a monotonia formal característica de projetos padrão de escolas.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SPEECH-LANGUAGE-HEARING ASSOCIATION (ASHA). **Guidelines for addressing acoustic in educational settings.** Rockville: Asha, 2005. Disponível em: <http://www.asha.org/policy/GL2005-00023>. Acesso em 2015.

ARIES, M. B. C.; AARTS, M. P. J.; VAN HOOFF, J. **Daylighting and health: A review of the evidence and consequences for the built environment**. Lighting Research and Technology, v. 47, p. 6-27, 2015.

BAKER, N.; STEEMERS, K. **Daylight Design of Buildings: A Handbook for Architects and Engineers**. London: James & James, 2002.

BODART, M.; DE HERDE, A. **A global energy savings in offices buildings by the use of daylighting**. Energy and buildings, London: Elsevier, V. 34, p.421-429, 2002.

BOYCE, P.; HUNTER, C.; HOWLET, O. **The benefits of daylight through windows**. 2003. Disponível em: <http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/daylightbenefits.pdf> Acesso em 2014.

British Standard 8206. **Lighting for buildings – Part 2: Code of practice of daylighting**, 2008.

BOUBEKRI, M. **Daylighting, architecture and health: Building design strategies**. Oxford: Elsevier, 144 p., 2008.

EARTH POLICY INSTITUTE. **World on the Edge by the Numbers: Shining a Light on Energy Efficiency**. Julho 2011. Disponível em: http://www.earth-policy.org/data_highlights/2011/highlights15. Acesso em 2015.

HEERWAGEN, J.; DIAMOND, R. C. **Adaptations and coping: occupant response to discomfort in energy efficient buildings**. In Proceedings of ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, USA, 1992.

HERTZ, J. B. **Ecotécnicas em arquitetura**. São Paulo: Pioneira, 1998.

LAM, W. M. C. **Sunlighting as a formgiver for architecture**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

PANERO, J.; ZELNIK, M. **Dimensionamento humano para espaços interiores**. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

REINHART, C. F. Simulation-based review of the ubiquitous window-headheight to daylit zone depth rule-of-thumb. **Anais do Buildings Simulation 2005**. Canadá, 2005.

ROBBINS, C. L. **Daylighting**: design and analysis. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold, 1986.

SERRA, R. **Arquitectura y climas**. Barcelona: Gustavo Gili, 1999.

UNITED STATES GREEN BUILDING CONCIL (USGBC). **LEED v4 for Building Design and Construction**. Disponível em <http://www.usgbc.org/leed>. Acesso em 2015.

VEITCH, J.; GALASIU, A. **The physiological and Psychological effects of windows, daylight, and view at home**. NRC-IRC Research Report RR325. Ottawa: National Research Council, 2012. Disponível em <<http://doi.org/10.4224/20375039>>.

Análise do ofuscamento e dos níveis de iluminação natural em um modelo de escritório a partir da inserção de elementos de proteção solar

Ana Gabriela Lima Alves de Oliveira
Solange Maria Leder

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da luz natural, além de contribuir para a economia de energia, propicia maior conforto aos usuários, trazendo inúmeros benefícios psicológicos e fisiológicos (ARIES et al., 2015). Por outro lado, a utilização indiscriminada do vidro nas edificações, fruto da falta de conhecimento ou respeito às condicionantes climáticas do local, pode resultar em problemas como o excesso de iluminação, a má distribuição dos níveis de iluminação, o ofuscamento e o excesso de calor proveniente da radiação solar direta.

A janela lateral, elemento arquitetônico mais utilizado para a entrada da luz, normalmente proporciona níveis elevados de iluminação em sua proximidade e baixos no fundo da sala, configurando uma distribuição irregular que pode gerar problemas tanto pelo excesso, quanto pela falta de luz suficiente para a execução das tarefas em áreas mais distantes.

O alcance da luz a partir da abertura depende da altura da mesma e da profundidade do ambiente. Segundo Robertson (2005), uma iluminação natural adequada normalmente penetra 1,5 vez a altura da verga da janela, ou até duas vezes, se considerar os raios solares diretos. Outros autores, como Reinhart (2005), defendem que a profundidade máxima pode chegar até 2,5 vezes a altura da verga da janela.

O dimensionamento e localização das aberturas, quando inadequados, conjuntamente com a falta de proteção das mesmas, podem elevar excessivamente o nível de iluminância dos ambientes e gerar desconforto aos usuários. Pereira (1994) ressalta que para o alcance do conforto visual é necessário uma série de requisitos como: iluminância suficiente, boa distribuição de iluminâncias, contrastes adequados (equilíbrio de luminâncias), bom padrão e direção de sombras e ausência de ofuscamento. O ofuscamento é gerado por níveis muito intensos de iluminação ou contrastes excessivos em um campo visual, sendo tipicamente expresso como função direta do tamanho da janela e do brilho do céu visto através dela, e inversa do brilho do ambiente interno (HOPKINSON, 1972). Além disso, não depende somente da condição do céu no momento, mas também da posição e da direção da visão do observador.

Para edificações localizadas em cidades de clima tropical e equatorial, como as brasileiras, a adoção de dispositivos de proteção solar é item crucial. Esses dispositivos são, juntamente com o tipo de vidro da esquadria, variáveis importantes no equilíbrio dos níveis de iluminação internos. Os elementos de proteção dividem-se, comumente, em internos e externos. Os elementos internos, como cortinas ou persianas, permitem a entrada do calor. Os elementos externos, como marquises, beirais e brises, são mais efetivos no controle do excesso de calor. As imagens da Figura 1 ilustram alguns exemplos.

Para definir o sistema de proteção solar mais adequado, em geral, são levados em consideração fatores como ganhos térmicos, níveis de iluminância internos e o coeficiente de sombreamento (STACK et al., 2000).

Figura 1 - Elementos de proteção solar



Fonte: Autores

Um fator de forte influência na eficiência de um sistema de proteção é o comportamento do usuário, bem como, devem ser observadas as condições do local, como latitude e orientação. Além de questões como o contato com o exterior, relevante por ser um indicador de desempenho relacionado à qualidade do ambiente.

Apesar de não existir um método único de projeto, dois pontos básicos devem ser avaliados: os períodos em que há incidência de radiação direta e os ângulos de sombreamento. Na visão de Hazboun (2017) o projeto adequado proporciona o sombreamento da abertura ao mesmo

tempo em que permite o balanceamento de níveis de iluminância interna, redução do ofuscamento e controle da radiação solar direta.

No Brasil, diretrizes e ferramentas de apoio ao projeto do elemento de proteção podem ser encontradas nas normas: NBR 15215 (Iluminação natural: partes 1, 2, 3 e 4), NBR ISO/CIE 8995-1 (Iluminação em ambientes de trabalho - Parte 1: Interior), a NBR 15.220 (Desempenho térmico de edificações, especialmente a Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social) e a NBR 15575 Desempenho de edificações habitacionais.

O presente estudo se propõe a analisar, através de simulação computacional, três sistemas de obstrução solar: Persiana de PVC (interna), Brise (externo) e uma associação entre Prateleira de luz (interna e externa) com Persiana de PVC (interna). O objetivo principal é caracterizar o impacto desses elementos nos níveis e na distribuição da iluminação natural, bem como no ofuscamento. Os elementos de proteção solar em estudo foram inseridos em um ambiente de escritório, localizado no clima tropical quente e úmido. Com os resultados obtidos, serão estabelecidas relações entre os tipos de proteção solar e o desempenho da iluminação natural.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

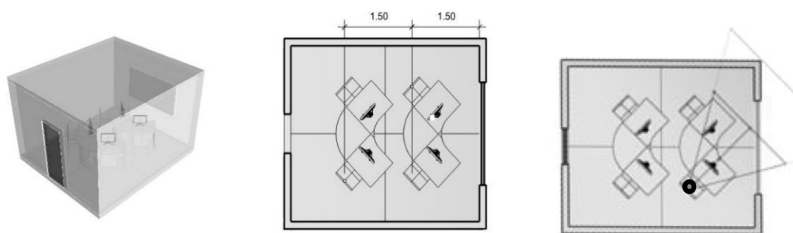
As localidades escolhidas para esse estudo foram as cidades de João Pessoa e Recife, cidades litorâneas de clima quente e úmido, com latitude, respectivamente, de aproximadamente 7°S e 8°S. Os dados de Recife foram obtidos na plataforma do Projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA). Os dados de João Pessoa foram obtidos na página Roriz Bioclimática (RORIZ, 2017). Destaca-se que os dados de João Pessoa possuem a limitação de apresentar a nebulosidade constante, de 50%, fato que motivou a utilização, nessa pesquisa, dos dados de Recife, possibilitando assim, verificar o impacto dessa restrição.

O modelo 3D utilizado foi desenvolvido no software *Rhinoceros* 5 e possui dimensões 3,6m x 4,2m e altura de 2,8m. A abertura foi dimensionada conforme recomendação dos códigos municipais das cidades estudadas, possuindo área equivalente a 1/6 da do piso (PAP - Percentual de Área do Piso). Assim, como a sala possui 15,12m², a abertura tem 2,52m² (largura 2,10m; altura 1,20m; e peitoril 0,90m).

No escritório estão quatro postos de trabalho, dois a 1,5m da janela e dois a 3m, conforme Figura 2. Considerando que os mais próximos da janela são mais sujeitos a excessos de iluminação, optou-se pela análise do posto localizado mais próximo à abertura (mais crítico).

Os sistemas de obstrução solar foram elencados com base em investigações de manuais e recomendações fruto de pesquisas similares, sendo os ângulos e horários de proteção definidos a partir da análise das cartas solares das cidades em estudo. A partir dessa análise, foi identificado que o ângulo de proteção $\alpha = 45^\circ$ seria adequado para garantir, simultaneamente, proteção solar e visão do exterior, no intervalo horário de 08:30 h a 15:30 h.

Figura 2 – Disposição do mobiliário, localização dos postos de trabalho e campo visual analisado

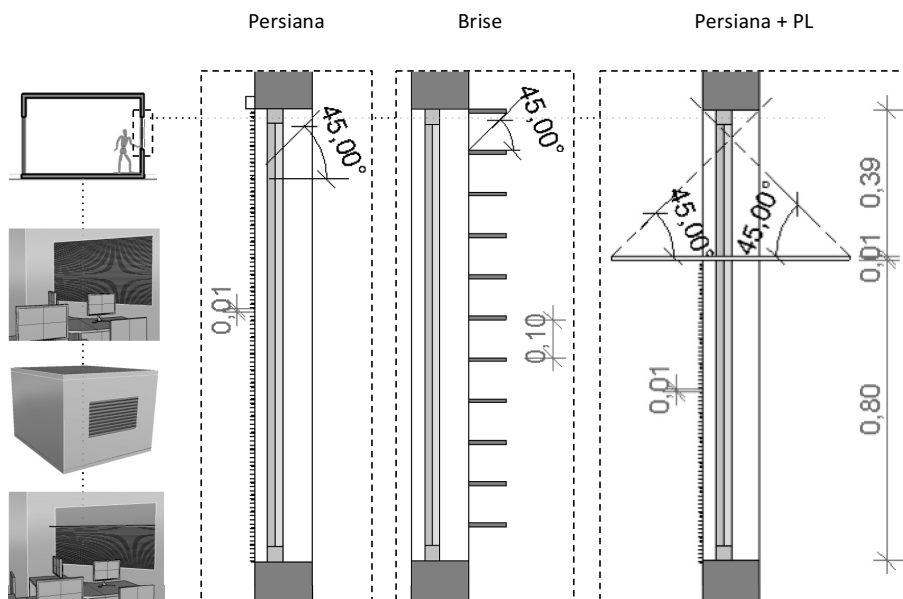


A persiana possui 1mm de espessura e 1cm de largura, com espaçamento entre as lâminas de 1cm. Os brises são placas com 1cm de espessura, com largura de 10cm e espaçamento de 10 cm. Na Figura 3 pode-se observar detalhes sobre os elementos de proteção.

A prateleira de luz está posicionada a uma altura de dois terços da altura da abertura, deixando o terço superior livre. Diversos estudos sugerem a chamada “regra de ouro” para seu dimensionamento, segundo a qual a largura externa do elemento deve possuir a mesma medida que a porção do vidro acima dela, produzindo um ângulo de 45°. Sua largura total é 63cm (espessura= 1cm).

A extensão *DIVA-for-Rhino* possibilitou a realização das simulações computacionais, sendo possível fazer análises de comportamento ambiental de edifícios isolados ou inseridos no meio urbano. A geolocalização se deu por meio da inserção dos arquivos climáticos das cidades em formato epw, para Recife, obtidos na plataforma do Projeto SWERA e, para João Pessoa, obtidos dos arquivos climáticos de Roriz (2012).

Figura 3 - Esquematisação dos dispositivos de obstrução solar



As superfícies dos materiais atendem aos parâmetros da NBR ISO/CIE 8995-1, de 2013, que define intervalos ideais de faixas de refletância útil para cada superfície. Os coeficientes de reflexão empregados foram: 60% nas paredes, 30% no piso e 70% no teto e nos elementos de proteção solar. O vidro possui transmitância da luz de 88%.

Os sensores estão posicionados em uma malha de pontos a 0,76m do piso. O afastamento dos sensores em relação às paredes é de 0,5m.

Baseando-se nos estudos de Albuquerque e Amorim (2012), as variáveis de simulação consideradas foram: (a) iluminância mínima exigida pela NBR ISO/CIE 8995-1/2013 a ser fornecida apenas com luz natural (500lux para escritórios); (b) Autonomia da Luz Natural - *Daylight Autonomy* - ALN ou DA; (c) autonomia espacial da luz natural (sDA) - área do ambiente que deve apresentar DA igual ou acima do definido; (d) horário de ocupação - horário em que a simulação computará os níveis de luz natural (08:00 às 18:00, com medição do nível da iluminação a cada 60min); e (e) latitude e orientação (norte). Foi também considerado um possível ajuste dos dispositivos para uma situação de maior conforto ambiental.

O programa utiliza como base para os ajustes o *Lightswitch model*, modelo de previsão do comportamento de usuários em ambientes iluminados naturalmente em relação ao controle manual da iluminação, especialmente quando há elementos de obstrução solar. Desenvolvido por Reinhart (2001), o modelo combina diversos fatores para prever quando os usuários irão fechar os dispositivos ou ligar os sistemas artificiais de iluminação. O elemento é fechado quando o ofuscamento atinge o nível perturbador (40%) ou a radiação chega a 50W/m² na superfície de trabalho.

A avaliação dos níveis de ofuscamento se deu por meio de simulações de probabilidade anual (*Annual Glare*), que apresenta um

gráfico com escala dividida em: imperceptível ($DGP < .35$), perceptível ($.40 > DGP \geq .35$), perturbador ($.45 > DGP \geq .40$) e intolerável ($DGP \geq .45$).

A simulação de DA gera uma malha espacial com a porcentagem de horas ocupadas nas quais aquele determinado ponto apresenta o valor de iluminância desejado ou mais. Além disso, o programa disponibiliza um relatório onde constam: porcentagem da área considerada iluminada naturalmente (*Daylit Area*), *Daylight Factor* - DF (relação entre as iluminâncias interna e externa), porcentagem de sensores com iluminância mais de 10% acima do desejado (DA_MAX) durante mais de 5% do tempo (indicativo de áreas sujeitas a ofuscamento), Iluminância Útil da Luz Natural (IULN ou UDI), além de outros que não se encaixam nesta análise.

Por padrão, o intervalo de UDI analisado é entre 100 e 2000lux, dentro do qual a iluminação natural permite o desenvolvimento de atividades sem necessidade de complementação com fontes artificiais, ou seja, o ambiente não está excessivamente claro ou escuro. Iluminâncias superiores a 2000lux são indesejáveis por estarem associadas ao ofuscamento, enquanto valores abaixo de 100lux são insuficientes para a realização da tarefa ou para o aproveitamento conjunto com a iluminação artificial. Como referência adotou-se o critério: UDI no intervalo de 100 a 2000 lux ocorrendo mais de 50% do ambiente é considerado satisfatório (REINHART, 2005).

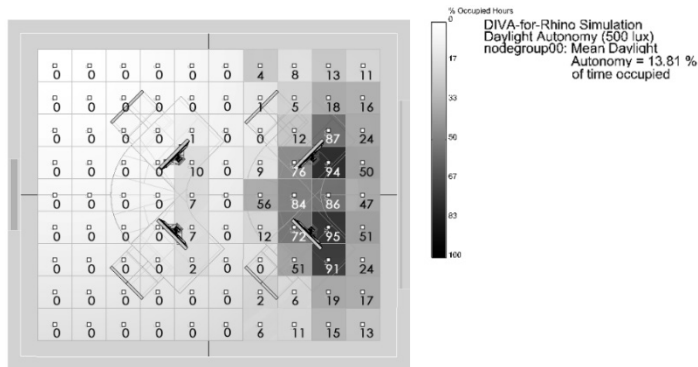
3 RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos com os modelos: Abertura sem proteção solar; Abertura com persiana; Abertura com brise e Abertura com prateleira de luz e persiana, nas duas localidades em análise.

3.1 Abertura sem proteção solar - João Pessoa

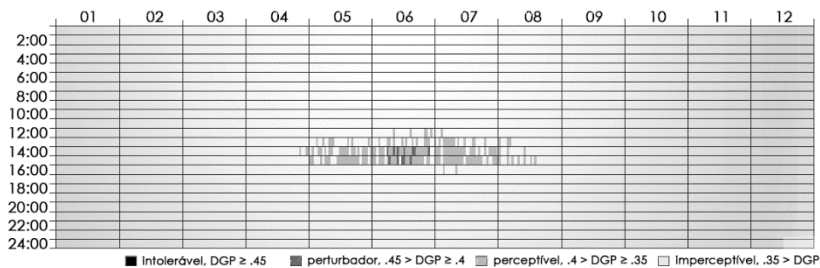
Constatou-se que apenas 12% da área do ambiente possui a iluminância desejada (500lux) em pelo menos metade do tempo de ocupação, com DA média de 13,81%. A Figura 4 mostra espacialmente a distribuição e a porcentagem de horas ocupadas nas quais há autonomia da luz natural. Observa-se que somente os postos distantes até cerca de 1,5 m da abertura teriam certa autossuficiência em relação aos sistemas de iluminação artificial.

Figura 4 - Distribuição da DA – abertura sem proteção - João Pessoa



Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

Figura 5 – Probabilidade anual de ofuscamento - abertura sem proteção - João Pessoa



Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

Dos 90 sensores dispostos, 51 não atingiram 500lux em nenhum momento ou não chegaram a 1% das horas de ocupação, 27 o atingiram em menos de 50% delas e apenas 12 apresentaram no mínimo metade do tempo ocupado com autonomia. Em relação ao UDI, 63% do ambiente possui entre 100 e 2000lux durante 50% ou mais das horas ocupadas, de um total de 3650h ao longo do ano.

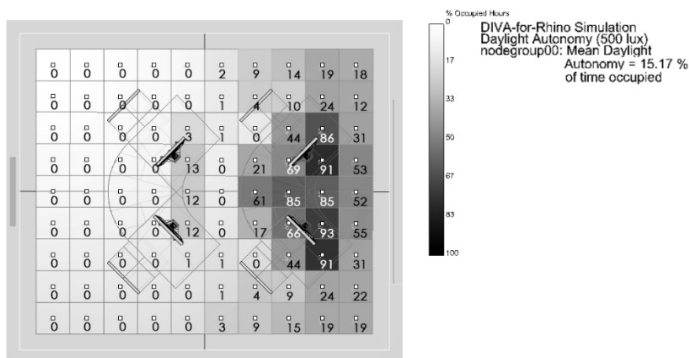
A estimativa geral é de ocorrência de ofuscamento (no mínimo perturbador) em 0,3% do tempo. Para o observador estudado, ele ocorre entre os meses de maio e agosto, das 11h às 13h (Figura 5). Análises feitas inserindo-se o arquivo climático no software *Climate Consultant 6.0* revelaram níveis menores de radiação direta e global nesse período, porém uma maior exposição da fachada aos raios solares, conforme carta solar.

3.2 Abertura sem proteção solar - Recife

A DA média atingiu 15,17%, com UDI igual a 63% e área considerada naturalmente iluminada correspondendo a 13% do total. Pela Figura 6, observa-se uma distribuição espacial (sDA) semelhante à da cidade anterior, também com alcance da luz (considerando níveis satisfatórios) de até aproximadamente 1,5m da abertura, ou seja, cerca de 0,7 vez a altura da verga superior da janela (2,10m). Apesar do aumento geral das horas ocupadas com certa autonomia - em relação à João Pessoa -, apenas 12 sensores obtiveram níveis adequados de DA, enquanto 33 alcançam 500lux em algum momento, porém, em menos de 50% das horas ocupadas, e 45 permanecem abaixo.

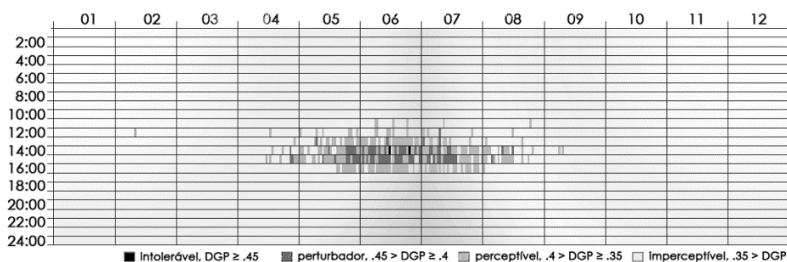
Há possibilidade de haver ofuscamento em 2,2% das horas ocupadas. O gráfico da Figura 7 mostrou incidência bem maior de incômodo para o observador em questão, para o qual, além do ofuscamento ser mais intenso, este ocorre em intervalos maiores ao longo do dia e do ano, aproximadamente de 10h às 16h, de abril a agosto.

Figura 6 - Distribuição da DA – abertura sem proteção - Recife



Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

Figura 7 – Probabilidade anual de ofuscamento – abertura sem proteção - Recife

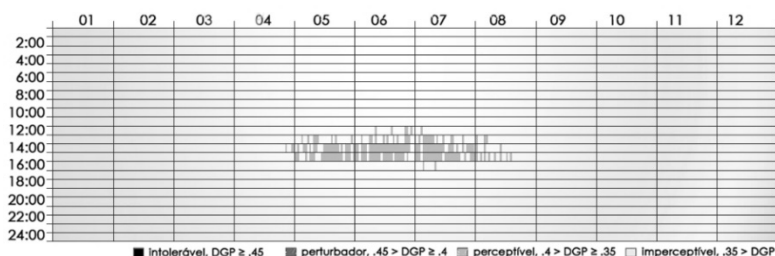


Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

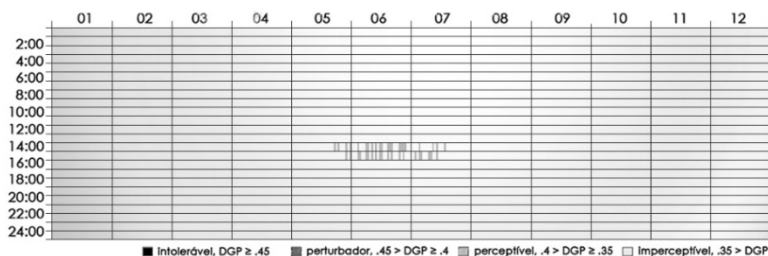
3.3 Abertura com persiana – João Pessoa

Os gráficos da Figura 8 apresentam estimativa da probabilidade de ofuscamento, respectivamente, em situações onde os brises nunca seriam fechados e nas quais eles fossem ajustados seguindo o modelo de previsão do comportamento do usuário. O fechamento ocorre nos dias nos quais no modelo sem proteção há ofuscamento perturbador (1% do tempo de ocupação), iniciando por volta das 13h e assim permanecendo até o dia seguinte, quando é aberta na chegada dos usuários.

Figura 8 – Probabilidade anual de ofuscamento para a persiana sempre aberta (a) e fechada em horários estratégicos (b).



(a)

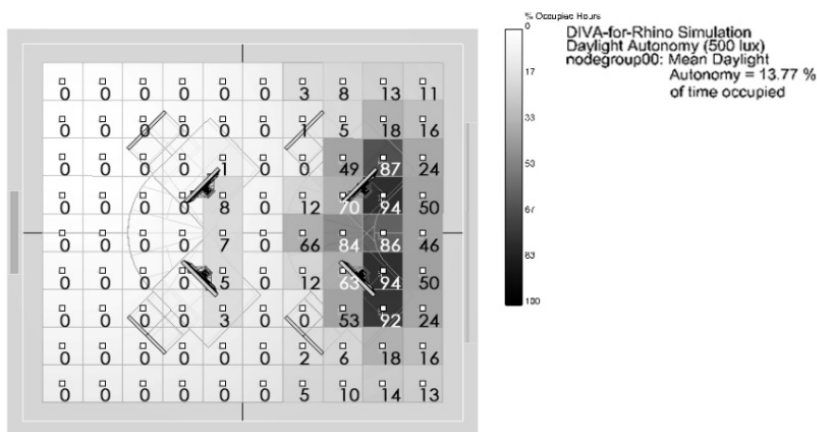


(b)

Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

É notável a mitigação do ofuscamento pela presença do elemento, eliminando os níveis considerados perturbadores. Acrescentando-se que não ocorreu redução de maneira considerável do DA (o índice anterior, que era de 13,81%, foi alterado para 13,77%). A distribuição espacial se manteve bastante semelhante, conforme Figura 9. O nível perceptível de ofuscamento no segundo gráfico indica situações onde o usuário percebe a ocorrência do fenômeno, mas não se incomoda com ele e, portanto, não considera necessária a adaptação do dispositivo.

Figura 9 - Distribuição da DA – abertura com persiana - João Pessoa

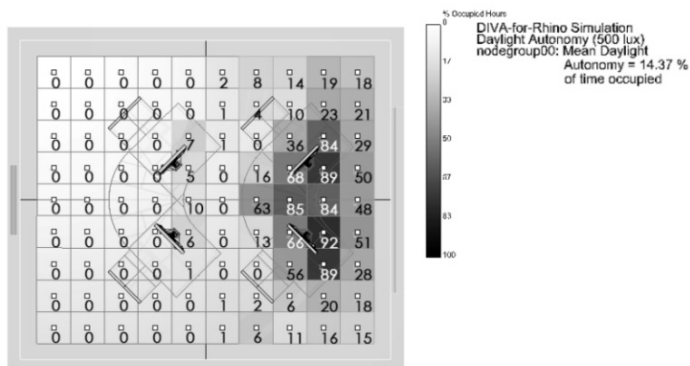


Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

3.4 Abertura com persiana – Recife

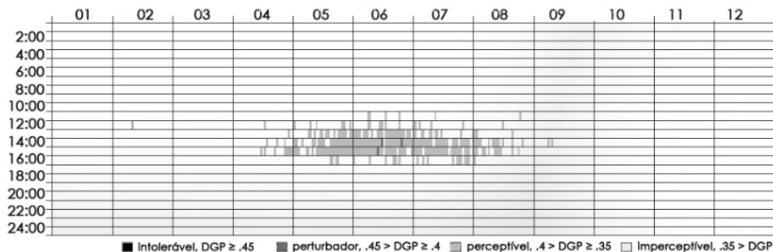
Tendo em vista que o modelo sem proteção em Recife apresentou maior probabilidade de ocorrer ofuscamento perturbador e intolerável, a persiana foi considerada aberta por 94% das horas ocupadas, menos do que em João Pessoa. O dispositivo também foi ajustado por volta das 13h e assim permaneceu até o dia seguinte. A distribuição do DA, para a abertura com persiana em Recife (Figura 10) é similar àquela observada em João Pessoa. A probabilidade de ocorrência do ofuscamento caiu de 2,2% das horas ocupadas para 0,1%, no entanto a área naturalmente iluminada reduziu de 15,17% para 14,37%. A UDI, por sua vez, subiu para 64%. Mesmo com a adaptação da persiana, junho continuou apresentando desempenho bastante crítico e, apesar do fechamento previsto, ainda aparecem pontos de provável desconforto no modelo adaptativo (Figura 11).

Figura 10 - Distribuição da DA - abertura com persiana - Recife

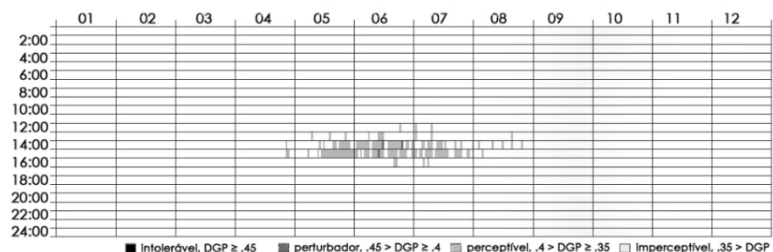


Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

Figura 11 – Probabilidade anual de ofuscamento para a persiana sempre aberta (a) e fechada em horários estratégicos (b).



(a)



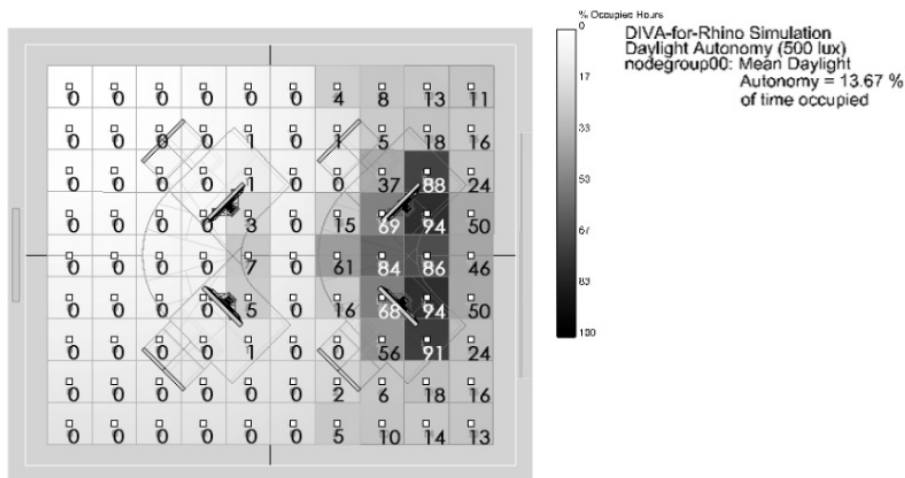
(b)

Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

3.5 Abertura com brise – João Pessoa

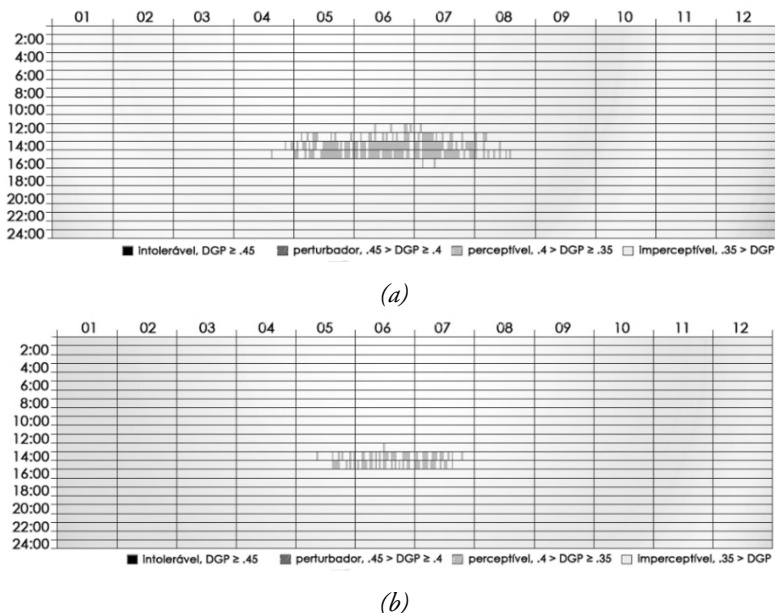
Visto que os brises também são articulados e possuem $\alpha=45^\circ$, os horários de fechamento e abertura são, segundo a rotina interna do programa, praticamente idêntico aos horários de fechamento e abertura da persiana, permanecendo assim, 99% das horas ocupadas abertos. Foi identificado somente ofuscamento perceptível (Figura 13), reproduzindo o resultado obtido com a persiana, porém, o brise reduziu a *Daylit Area* para 11%. O percentual de redução do ofuscamento foi apenas ligeiramente menor com os brises. A DA média baixou para 13,67%, inferior às situações verificadas com os demais sistemas de proteção solar analisados para a cidade de João Pessoa, já o UDI ficou estável, com 63% (Figura 12).

Figura 12 - Distribuição da DA - abertura com brises - João Pessoa



Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

Figura 13 – Probabilidade anual de ofuscamento para o brise sempre aberto (a) e fechado em horários estratégicos (b)



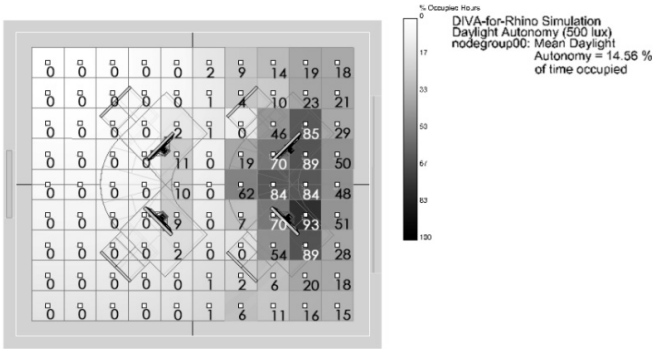
Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

3.6 Abertura com brise – Recife

Analisando o resultado obtido com o brise no ambiente localizado em Recife, ao contrário do que ocorreu em João Pessoa, não houve diminuição da DA, que se manteve constante (13%). O horário de abertura e fechamento foi aproximado (aberto em 94% das horas ocupadas) e não foi eliminado completamente o ofuscamento perturbador, sendo este, estimado que ocorra em cerca de 0,1% do tempo de ocupação. A malha mostrando espacialmente a distribuição da DA (Figura 14) apresentou comportamento semelhante, igualmente em relação aos níveis de iluminação. A *Daylit Area* manteve-se em 13% e a UDI em 64%. A DA média caiu em comparação com a situação proteção da abertura, porém

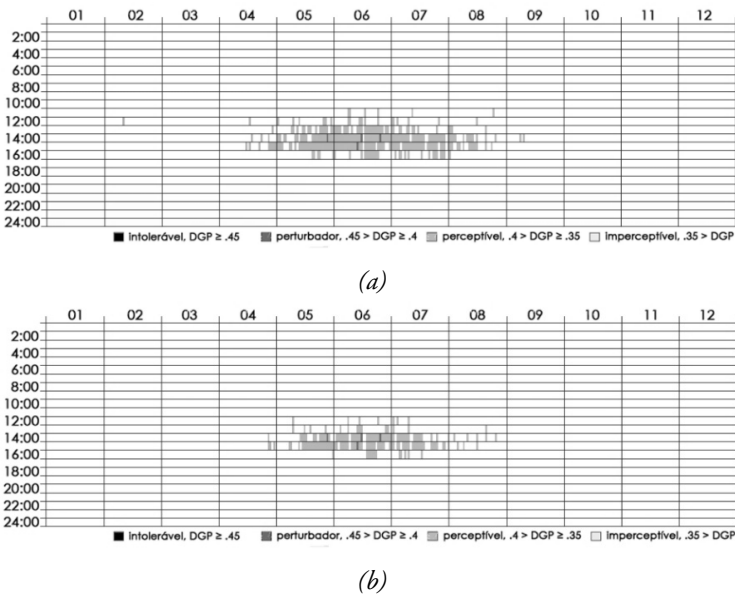
foi maior do que no modelo com persiana, com 14,56%. Os demais parâmetros não sofreram alteração.

Figura 14 - Distribuição da DA - abertura com brises - Recife



Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

Figura 15 – Probabilidade anual de ofuscamento para o brise sempre aberto (a) e fechado em horários estratégicos (b).

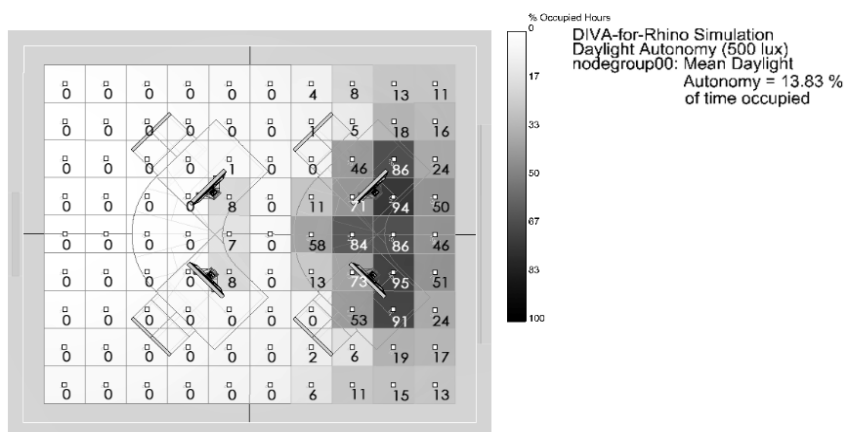


Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

3.7 Abertura com prateleira de luz e persiana - João Pessoa

Os parâmetros analisados DA e UDI, em geral, mantiveram certa constância (Figura 16), o UDI subiu para 64%, indicando que o ambiente possui níveis de iluminância mais próximos ao adequado.

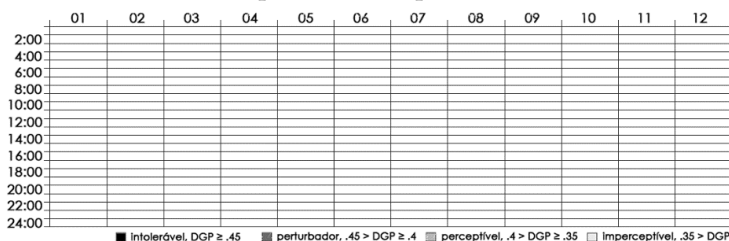
Figura 16 - Distribuição da DA - persiana + PL - João Pessoa



Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

A associação entre prateleira de luz (PL) e persiana foi o sistema que apresentou os melhores resultados em termos de ofuscamento. Mesmo considerando a PL um elemento fixo e mantendo a persiana sempre aberta, o ofuscamento foi evitado completamente e ainda ocorreu aumento da área naturalmente iluminada para 13,83%. Os horários de fechamento da persiana foram os mesmos para a situação apenas com persiana, e os gráficos de *Annual Glare* para o sistema aberto e fechado apresentaram-se inteiramente verdes, indicando que não há ofuscamento perceptível no campo visual do observador (Figura 17).

Figura 17 – Probabilidade anual de ofuscamento para PL + persiana, com persiana sempre aberta.

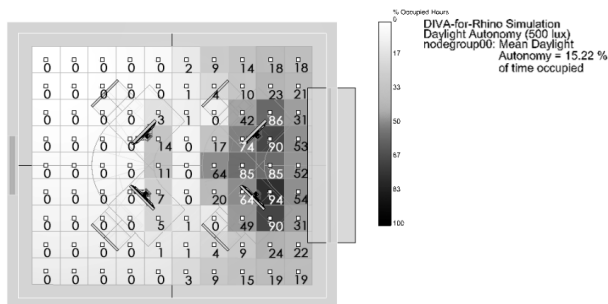


Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

3.8 Abertura com prateleira de luz e persiana – Recife

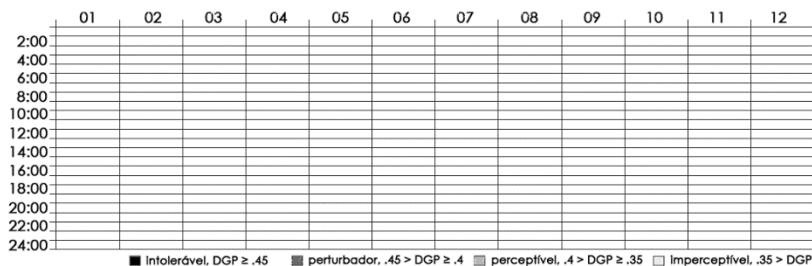
Da mesma forma como ocorreu em João Pessoa, a proteção solar com prateleira de luz e persiana foi a que se mostrou mais eficiente por eliminar a probabilidade de ofuscamento ao longo do ano sem a necessidade de fechamento da persiana, nem redução da iluminação interna. A autonomia da luz natural da sala aumentou para 15,22%, enquanto a *Daylit Area* continuou 13% e a UDI 64% (Figura 18). Ao contrário do esperado, só houve melhoria significativa na porção distanciada até uma vez a altura da verga da janela (2,10m), que se mostrou o limite para os demais sistemas também.

Figura 18 - Distribuição da DA - persiana + PL - Recife



Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

Figura 19 – Probabilidade anual de ofuscamento para PL + persiana, com persiana sempre aberta.



Fonte: DIVA (adaptado pelos autores).

4 DISCUSSÃO

As cidades de João Pessoa-PB e Recife-PE localizam-se no litoral do nordeste brasileiro, distanciadas 120km entre si, possuem clima tropical quente e úmido, caracterizado pelos elevados índices de pluviosidade, umidade do ar e temperatura. Segundo Sobreira et al. (2011), em João Pessoa, o trimestre mais quente ocorre nos meses de janeiro, fevereiro e março, enquanto o trimestre menos quente compreende os meses de junho, julho e agosto.

Através do comparativo entre os dados climáticos das cidades em estudo, realizado com o auxílio do *Climate Consultant 6.0*, nota-se a grande semelhança entre elas. Tanto a distribuição quanto os níveis como os índices de iluminância de radiação difusa e global são aproximados, porém, há valores maiores da radiação direta em Recife, apesar da nebulosidade anual média de 60%. Em relação à João Pessoa, destaca-se que o arquivo climático disponível apresenta a limitação de atribuir o valor (constante) de 50% para a nebulosidade durante todo o ano.

As tabelas comparativas (1 e 2) sintetizam os resultados obtidos com as simulações de Autonomia da Luz Natural (DA). Embora não

tenham ocorrido grandes alterações, a combinação da Prateleira de Luz com a persiana, resultou em DA média maior, até mesmo quando comparada com a janela desobstruída, provavelmente por ter aumentado o percentual de horas ocupadas com DA em áreas mais distantes da abertura.

Tabela 1 - Resumo de resultados para modelos em João Pessoa/PB.

Modelo	DA média	<i>Daylit Area</i>	DF Médio	UDI	Ofusc.	Aber-tura
Sem proteção	13,81%	12%	0,9%	63%	0,3%	-
Persiana	13,77%	12%	0,9%	63%	0,0%	99%
Brise	13,67%	11%	0,9%	63%	0,0%	99%
Persiana + PL	13,83%	12%	0,9%	64%	0,0%	100%

Tabela 2 – Resumo de resultados para modelos em Recife/PE.

Modelo	DA média	<i>Daylit Area</i>	DF Médio	UDI	Ofusc.	Aber-tura
Sem proteção	15,17%	13%	0,9%	63%	2,2%	-
Persiana	14,37%	13%	0,9%	64%	0,1%	94%
Brise	14,56%	13%	0,9%	64%	0,1%	94%
Persiana + PL	15,22%	13%	0,9%	64%	0,0%	100%

Ainda que os elementos de obstrução tenham passado mais tempo fechados, os modelos locados em Recife alcançaram desempenho lumínico superiores aos de João Pessoa, com destaque para a eficiência da combinação persiana + PL, que eliminou os níveis em excesso, embora partindo de uma situação com maior ofuscamento.

O percentual de área do piso considerada *Daylit Area* manteve-se entre 11% e 13% em todos os modelos, valor considerado baixo, porém é importante destacar que as salas estudadas são de uso de escritório, para os quais a NBR ISO/CIE 8995-1/2013 recomenda um nível mínimo de iluminância de 500lux. Se os mesmos ambientes fossem espaços com uso de menor exigência o desempenho seria melhor. O nível de iluminação adotado é, segundo Reinhart (2005), uma variável de grande impacto no desempenho da iluminação natural.

O percentual da área com iluminância entre 100 e 2000lux, considerada útil para o desenvolvimento de atividades em geral, figurou entre 63% e 64%, valores consideráveis para uma abertura voltada para o norte. Por atingir percentual acima de 50%, todos os ambientes são considerados com níveis de iluminação natural, em geral, satisfatórios, embora a distribuição irregular possa acarretar problemas tanto nas áreas muito iluminadas quanto nas áreas com pouca luz.

5 CONCLUSÃO

A proteção solar nas aberturas é um elemento chave para regular o aporte de iluminação no ambiente, além de ser fator decisivo no conforto térmico e no consumo de energia (controle da carga térmica e da ventilação natural). Destaca-se, ainda, o contato visual com o exterior, que tantos benefícios trazem aos ocupantes ao elevar seu bem-estar e sua produtividade.

As investigações realizadas neste trabalho indicaram que a presença de elementos de obstrução solar não necessariamente reduz a disponibilidade de luz natural no ambiente, podendo até ampliar a ocorrência de níveis de iluminação nos intervalos mais desejados (100 a 2000 lux). Em termos de distribuição dos níveis de iluminação, todos

os elementos de proteção analisados apresentaram comportamento semelhante, provavelmente por compartilharem a mesma angulação.

Dentre os modelos analisados, os Brises e as Persianas, mais comuns no mercado, ofereceram proteção contra a radiação direta, mas ainda proporcionaram ambientes passíveis de ofuscamento, além de reduzir o aporte de iluminação pela obstrução da janela. A proteção resultante da associação da Persiana com a Prateleira de Luz apresentou desempenho superior aos demais elementos. Com ênfase ao fato de que a Prateleira de luz oferece uma proteção de maior espectro, dispensando a necessidade de fechamento da persiana para eliminar o ofuscamento. Além de melhor desempenho, a porção superior da abertura (acima da Prateleira de Luz) permanecendo desobstruída, permite a entrada de luz e maior contato com o exterior nas partes mais profundas do ambiente, fator que contribui para o aumento do bem-estar dos ocupantes.

Simulações computacionais podem ser grandes aliadas dos projetistas, tanto na definição e dimensionamento do elemento de proteção solar, quanto na avaliação de seu desempenho. Ao realizar as análises, viu-se a possibilidade de estudar outros dispositivos de proteção ou ainda os mesmos com diferentes angulações, alterando a geometria da entrada da luz no ambiente. Sistemas fixos também podem ser incluídos, além da necessidade de analisar o impacto do posicionamento das aberturas em diferentes orientações e a inserção do entorno.

REFERÊNCIAS

ARIES, Myriam BC; AARTS, Mariëlle PJ; VAN HOOFF, Joost. **Daylight and heanbrlth: A review of the evidence and consequences for the**

built environment. Lighting Research & Technology, v. 47, n. 1, p. 6-27, 2015. ISSN 1477-1535.

ALBUQUERQUE, M. S. C.; AMORIM, C. N. D. **Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ-R.** Ambiente Construído, v. 12, n. 2, p. 37-57, abr./jun. Porto Alegre, 2012.

ABNT. **NBR 8995-1: iluminação de ambientes de trabalho - parte 1: interior.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2013. 46 p.

_____. **NBR 15215-1: iluminação natural - parte 1: conceitos básicos e definições.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2004. 5 p.

HAZBOUN, V. D. **Recomendações projetuais para o aproveitamento da luz natural em sistemas de aberturas leste ou oeste considerando o controle do usuário.** 2017. 102 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

HOPKINSON, R. G. **Glare from daylighting in buildings.** Applied Ergonomics, v. 3.4, p. 206-215, 1972.

PEREIRA, F. O. R. **Iluminação.** Apostila do Curso de Especialização de Engenharia de Segurança do Trabalho. Florianópolis, Centro Tecnológico/UFSC, 1994.

REINHART, C. F. **Daylight Availability and Manual Lighting Control in Office Buildings – Simulation Studies and Analysis of Measurements.** 2001. 139 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia)

- Faculdade de Arquitetura da University of Karlsruhe, Karlsruhe, Alemanha.

_____ **A Simulation-Based Review of the Ubiquitous Window-Head-Height to Daylit Zone Depth Rule-of-Thumb.** In: INTERNATIONAL BUILDING SIMULATIONS CONFERENCE, 9, Montreal, 2005.

ROBERTSON K. **Daylighting Guide for Buildings.** Canadá: Canadian Mortgage & Housing Corporation, 2005.

RORIZ Bioclimática. Disponível em: < <http://www.roriz.eng.br> > Acesso em: 01 de agosto de 2017.

SOBREIRA, L. C.; LEDER, S.M.; SILVA, F.A.G.; ROSA, P.R.O. **Expansão urbana e variações mesoclimáticas em João Pessoa, PB.** Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 125-138, 2011. ISSN 1678-8621.

STACK, A.; GOULDING, J.; LEWIS, J. O. **Shading systems: solar shading for the European climates.** European Commission: Irlanda, 2000.

Percentual de abertura na fachada e tipos de fechamento no desempenho térmico e lumínico da edificação

*Andréia Cardoso de Oliveira
Eliana de Fátima Costa Lima
Lilianne de Queiroz Leal
Solange Maria Leder
Solange Virginia Galarca Goulart*

1 INTRODUÇÃO

Este estudo investiga o desempenho térmico da envoltória e dos sistemas de iluminação natural de edificações residenciais de interesse social, em seis diferentes localidades do estado da Paraíba. As cidades escolhidas são: Areia, João Pessoa, Monteiro, Patos, Campina Grande e Souza. Segundo o Zoneamento Bioclimático Brasileiro - NBR 15.220 (ABNT, 2005b), as cidades citadas, localizam-se na zona bioclimática 6 (Monteiro), 7 (Patos e Souza) e 8 (Areia, João Pessoa e Campina Grande).

As aberturas são responsáveis por uma parcela significativa do consumo de energia das edificações, estudos de Buelow - Huebe (2001) indicam que 20-40% do desperdício de energia nas edificações deve-se às aberturas. Assim, caracterizar o desempenho de diferentes configurações de aberturas é de grande importância para a adequação das normas às condições locais. No estudo de Tahmasebi et al (2011), os autores

concluíram que, em áreas tropicais, dimensões de aberturas entre 34-41% não representam grandes diferenças no consumo de energia.

As recomendações da norma NBR 15.220 para as aberturas estão resumidas em seu Anexo C, com percentuais que variam entre pequenas, médias e grandes para ambientes de longa permanência (Tabela 1). O tamanho das aberturas foi expresso como percentual de área do piso, como pode ser observado na tabela abaixo (ABNT, 2005). A recomendação para a zona 6 é o uso de aberturas médias, para a zona 7 recomenda-se aberturas pequenas e para a zona 8 aberturas grandes. O sombreamento das aberturas é ainda recomendado, para as três zonas (6, 7 e 8).

Tabela 1 - Aberturas para ventilação

Tamanho	A (em % de área do piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Fonte ABNT, 2005

A recomendação sombreamento da abertura é muito genérica, pois, dada a dinâmica da trajetória solar, o sombreamento total da abertura frequentemente gera um conflito com a visão do exterior e a entrada de luz natural. Tendo a proteção solar e a iluminação natural como variáveis de análise, no estudo de Cho, Yoo e Kim (2014) a proteção solar de melhor desempenho, para todas as orientações, foi um sistema de elementos horizontais múltiplos. Este sistema se aproxima da tradicional veneziana, que no estudo de Martins (2013) apresentou melhores resultados de economia de energia.

Segundo De Dear e Brager (2002), edifícios naturalmente ventilados são fortemente influenciados pela mudança térmica do exterior.

Pessoas que vivem em edifícios naturalmente ventilados, com controle sobre a abertura e o fechamento das janelas, demonstraram uma maior adaptação à variabilidade climática sazonal e à diversidade de temperaturas diárias, assim como, uma tolerância maior às temperaturas acima da zona de conforto. Fechamentos de abertura com venezianas permitem ventilação constante e a visão do ambiente externo, esta última dependendo da dimensão, espaçamento e inclinação das aletas.

Assim, esta pesquisa tem como principal objetivo analisar o impacto de variações das aberturas no desempenho térmico e lumínico de ambientes inseridos em uma edificação residencial, considerando diferentes condições climáticas (clima quente-úmido e semiárido). As variáveis em análise são: a dimensão da abertura, tipo de fechamento, o sombreamento e a transparência.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho de investigação foi desenvolvido tendo como base a simulação computacional. Para observar o comportamento térmico da edificação o software escolhido foi o Design Builder, por ser um dos principais programas utilizados no Brasil e adotar o formato (.EPW) de base de dados climáticos relativo a um ano típico de referência - TRY, permitindo simulações horárias no período de um ano. Nos itens a seguir serão apresentadas maiores informações sobre a caracterização dos modelos (caso base) e a configuração destes na plataforma do programa.

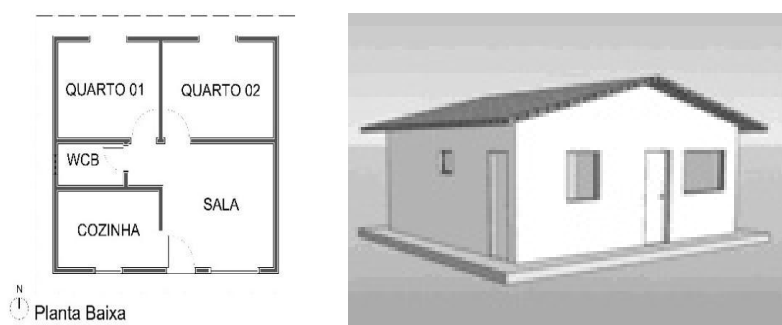
Para simular o comportamento da luz natural foi adotado o *Daysim 3.1* que simula a iluminação natural através do *Daylight Coefficient*, baseando-se no método do *Raytracing* e o modelo de céu de Perez, possibilitando assim, a simulação das iluminâncias sob qualquer condição de céu. Neste software, o montante anual da luz do dia em um espaço é

quantificado através das métricas dinâmicas derivadas dos perfis anuais de iluminância de hora em hora, que são gerados usando um arquivo de clima local. No método de simulação no *Daysim* são definidos os parâmetros de simulação baseados no *RADIANCE*; a geometria e a descrição dos materiais do edifício; descrição do local (entorno da edificação) e dados do clima (arquivo climático em formato TRY).

2.1 Configuração dos modelos de análise

Para as simulações, foi adotado um modelo representativo de habitação de interesse social desenvolvido pelo Programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal em parceria com os estados e municípios e operacionalizado com recursos da CAIXA. A unidade residencial unifamiliar possui 35 m² de área total construída, com os seguintes ambientes: sala, cozinha, banheiro e dois quartos. A edificação é térrea e possui a cobertura em duas águas no sentido leste/ oeste (Figura 1).

Figura 1 – Planta baixa modelo base (A); Perspectiva modelo base (B).



2.1.1 Desempenho térmico

As propriedades dos fechamentos opacos foram consideradas constantes em todas as simulações a partir do modelo base que utilizou a combinação especificada na Tabela 2.

As variáveis de análise nos modelos restringem-se somente às aberturas da edificação, que possuem variações na dimensão da abertura e nos tipos de fechamento. A área da abertura é proporcional à área do ambiente, sendo utilizado três proporções: 15%, 30% e 45% da área do ambiente. Para o tipo de fechamento foram empregados a veneziana de madeira, o vidro e misto, sendo esse último composto por 1/3 da área da abertura em vidro e 2/3 da área da abertura com veneziana, como mostra a Tabela 3.

Tabela 2 – Propriedades dos fechamentos opacos – verticais e horizontais

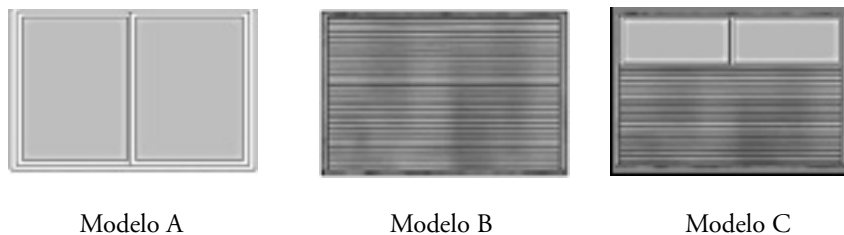
Descrição	U [W/(m ² . K)]	Ct [kJ/(m ² . K)]	α	φ [horas]
Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	5,04	120	0,20	1,3
Cobertura de telha de barro com 5,0 cm de lá de vidro sobre o forro de madeira. Espessura da telha: 1,0cm Espessura da madeira: 1,0cm	0,62	34	0,7	3,1

Tabela 3 – Características dos fechamentos transparentes

Legenda	Descrição	PAP
A1	Janelas de correr com esquadrias de alumínio com 3 cm de espessura e vidro simples de 4 mm incolor sem proteção solar	15%
A2	Janelas de correr com esquadrias de alumínio com 3 cm de espessura e vidro simples de 4 mm incolor sem proteção solar	30%
A3	Janelas de correr com esquadrias de alumínio com 3 cm de espessura e vidro simples de 4 mm incolor sem proteção solar	45%
B1	Janelas de madeira com veneziana fixa horizontal	15%
B2	Janelas de madeira com veneziana fixa horizontal	30%
B3	Janelas de madeira com veneziana fixa horizontal	45%
C1	Janelas de correr com esquadrias de alumínio com 3 cm de espessura e vidro simples de 4 mm incolor (1/3) + veneziana fixa horizontal (2/3)	15%
C2	Janelas de correr com esquadrias de alumínio com 3 cm de espessura e vidro simples de 4 mm incolor (1/3) + veneziana fixa horizontal (2/3)	30%
C3	Janelas de correr com esquadrias de alumínio com 3 cm de espessura e vidro simples de 4 mm incolor (1/3) + veneziana fixa horizontal (2/3)	45%

Os modelos utilizados referem-se a produtos encontrados no mercado. Por exemplo, o modelo A, a janela de correr de alumínio, foi modelada com duas folhas, resultando em menos de 50% de abertura para ventilação natural, enquanto representa o percentual de abertura para iluminação natural. No modelo B, a janela foi modelada como veneziana fixa, com menos de 50% de abertura para ventilação natural, mas um percentual bem menor de visão do exterior e área para iluminação natural. Enquanto o modelo C, com solução mista, garante ventilação e iluminação natural constantes, conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Modelos de aberturas adotados para análise do desempenho térmico



O modelo de simulação foi configurado em quatro abas distintas: padrão de ocupação, padrão de construção, padrão de abertura e padrão de consumo energético. O mesmo padrão de ocupação e de consumo energético foi mantido para todas as simulações. O padrão de ocupação do edifício em análise teve como base o trabalho de Tavares (2006). Na definição do padrão de ocupação foi considerado um tipo de uso para os dias da semana (segunda-sexta) e outro para os finais de semana. A composição da família é de quatro pessoas: o casal e dois filhos que estudam no período da manhã. Os quartos são ocupados por no máximo duas pessoas, enquanto a sala e a cozinha são utilizadas por toda a família, a ocupação máxima do banheiro é de um habitante.

Os ambientes são ventilados naturalmente, por tratar-se de habitações de interesse social, com a possibilidade de operação das aberturas que reproduzem hábitos dos ocupantes, com acionamento da rotina para temperaturas do ar interna superior a 26°C. O padrão de uso da iluminação artificial foi determinado por ambiente, com rotinas distintas para os dias úteis e para os finais de semana (TAVARES, 2006). Foram consideradas lâmpadas fluorescentes compactas em todos os ambientes - de 40 W para sala e cozinha, 15 W no banheiro 15 W e 25 W nos quartos. A densidade de potência média é de 4,5W/m². O

consumo mensal de energia elétrica, estimado para as duas unidades é de 150 kWh.

A análise do desempenho térmico foi realizada tendo como parâmetros o percentual de horas de desconforto por calor e o graus-hora para resfriamento. Foram utilizadas como referência, temperaturas-base distintas para cada cidade, em função de sua temperatura média anual. As temperaturas bases para cada cidade foram: Areia - 24,5°C; Campina Grande - 25°C; João Pessoa - 26,0°C; Monteiro - 25,5°C; Patos - 26,5°C e Sousa - 26,5°C.

2.1.2 Desempenho lumínico

Para a construção dos modelos tridimensionais (Figura 2) foi utilizada a ferramenta computacional SketchUp pro 8, onde foi possível exportar o modelo em formato. Para cada ambiente foi elaborado uma malha de pontos com as coordenadas dos sensores no plano de trabalho (Figura 1). Os pontos foram definidos a partir das recomendações da NBR 15215-4/ 2005, distanciados 0,5 m da parede e locados a 0,8 m do piso. A partir destas malhas foi gerado um arquivo de pontos no formato (.pts) que posteriormente foi inserido no software de simulação.

Os coeficientes de reflexão das superfícies foram considerados segundo Reinhart (2010), e a cartela de cores da CIBSE (2001), conforme Tabela 3. Para os fechamentos transparentes foi utilizada transmissão luminosa de 90%, conforme indica Reinhart (2010).

Foram adotadas três variações no tamanho das aberturas 15%, 30% e 45% em relação à área total de piso de cada ambiente. Foram analisados três tipos de fechamento: vidro (a), veneziana (b) e misto (c e d) com 1/3 de vidro e 2/3 de veneziana, tendo duas variações no

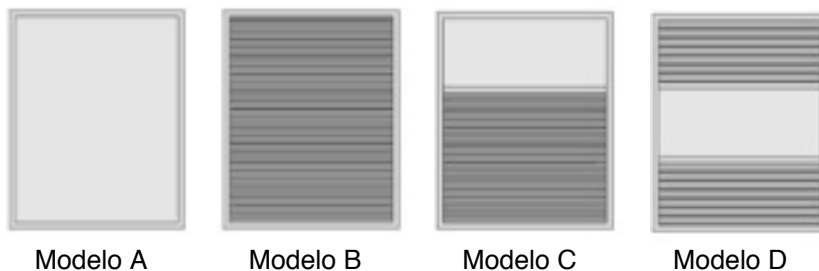
posicionamento do vidro: localizado na parte superior da abertura (c) e na parte central da abertura (d), ver Figura 3.

Tabela 3 – Propriedades dos fechamentos opacos – verticais e horizontais.

Material	Refletância	Material	Refletância
Parede	58%	Forro	84%
Piso	30%	Coberta	40%
Janelas	58%	Portas	58%

As simulações ocorreram para seis cidades localizadas no estado da Paraíba, são elas: Areia, João Pessoa, Campina Grande, Monteiro, Patos e Sousa. O horário estabelecido para as simulações foi das 06h00min às 17h00min, totalizando uma rotina de 11 horas por dia. O nível mínimo de iluminância adotado foi de 300lux conforme indicação da NBR 5413/1992.

Figura 3 – Tipos de fechamento: a) vidro; b) veneziana; c) misto – vidro superior; d) misto – vidro central



A análise do desempenho lumínico foi realizada a partir dos dados de Autonomia da Luz Natural (ALN) para cada sensor, onde se observou, em percentual, quanto tempo um determinado ponto apresenta iluminância acima do mínimo (100 lux).

Foram analisados também os dados de iluminância horária de situações extremas (solstício de verão e inverno) agrupados pela dimensão das aberturas, a fim de verificar o comportamento/distribuição da luz no ambiente. Cortes esquemáticos foram construídos a partir desses dados para a sala, o maior ambiente da edificação. Apenas a cidade de João Pessoa foi escolhida para essa análise.

Os dados de Iluminância Útil da Luz Natural (IULN) acima de 2000 lux foram analisados para verificar a probabilidade de ofuscamento, para cada dimensão de abertura, considerando os fechamentos vidro 1 e o misto 2 (vidro + veneziana - 1 no topo e 2 no centro da abertura).

O critério determinado para avaliar o desempenho da iluminação natural foi baseado na recomendação de Lynes (1968), de atender aos valores mínimos da legislação em pelo menos metade do ambiente e do estudo de Reinhart (2005), que considera suficiente a iluminação proporcionada por uma abertura lateral quando pelo menos metade do ambiente apresenta o valor da ALN estipulada.

3 RESULTADOS

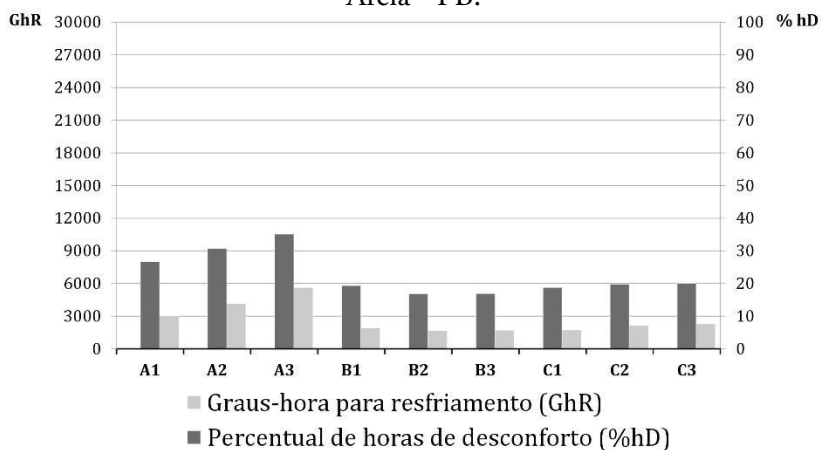
Os resultados serão apresentados em dois itens: simulação do desempenho térmico e simulação do desempenho lumínico.

3.1 Simulação do desempenho térmico

Com uma altitude de 620 metros acima do nível mar e clima quente e úmido, do conjunto de cidades analisadas, a cidade de Areia possui o clima mais ameno. Os resultados obtidos para Areia podem ser observados na Figura 4, o fechamento com veneziana (B) apresentou melhor desempenho ao longo do ano, tanto para a variável graus-hora

para resfriamento, inferior a 3.000 horas, como para o percentual de horas de desconforto, inferior a 20%. Nota-se que a variação na dimensão da abertura, de 30% (2) para 45% (3) não representa diferença significativa. No modelo com fechamento misto (C) observa-se um pequeno aumento no percentual de horas de desconforto, diferença maior é observada em relação à variável graus-hora para resfriamento. Com o fechamento em vidro (A) observa-se o pior desempenho, proporcional ao tamanho da abertura - quanto maior a abertura maior o desconforto e o Gh para resfriamento.

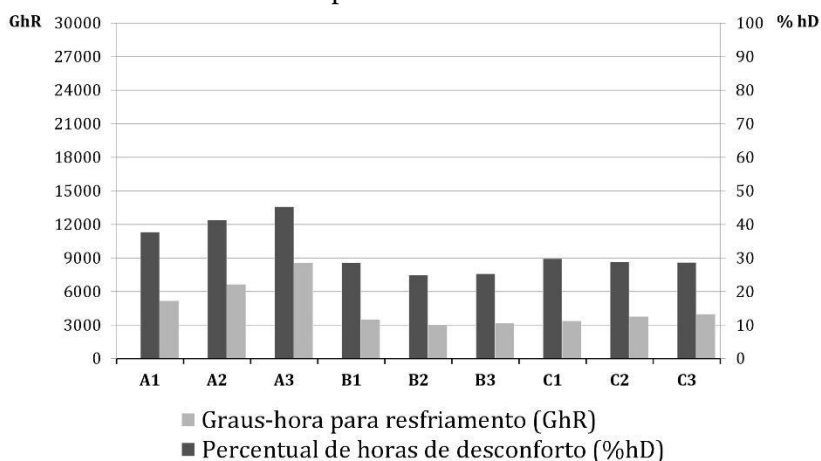
Figura 4 - Desempenho térmico da edificação em análise na cidade de Areia - PB.



Na cidade de Areia, considerando que se trata de um clima mais ameno, a possibilidade de desconforto por frio foi também investigada, porém não foi observada situações com ocorrência de desconforto por frio. As temperaturas mais baixas não ultrapassaram o limite de 18°C. Na Figura 5 observam-se os resultados para a cidade de Campina Grande, localizada a 550 metros acima do nível do mar, clima quente e úmido.

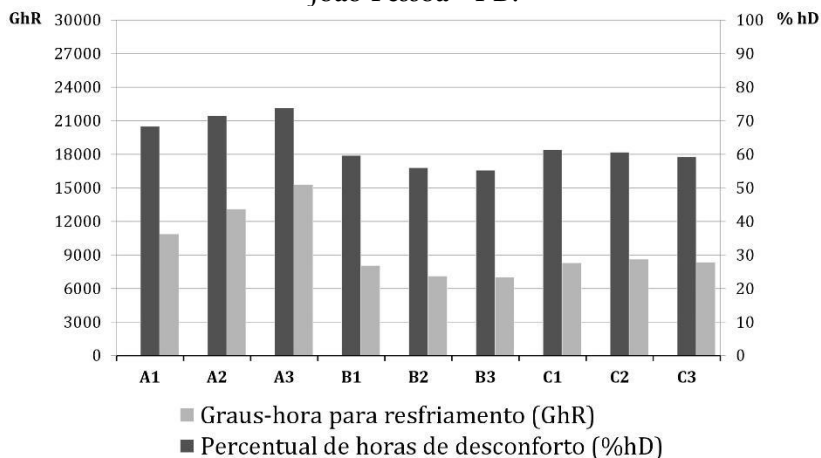
O fechamento com veneziana (B) apresentou melhor desempenho ao longo do ano, tanto para a variável graus-hora para resfriamento, inferior a 8.000, quanto para o percentual de horas de desconforto, em torno de 10%. Nota-se que a variação na dimensão da abertura, de 30% (2) para 45% (3) não representa diferença significativa, assim como, o desempenho entre o fechamento com veneziana (B) e o misto (C) é similar.

Figura 5 - Desempenho térmico da edificação em análise na cidade de Campina Grande - PB.



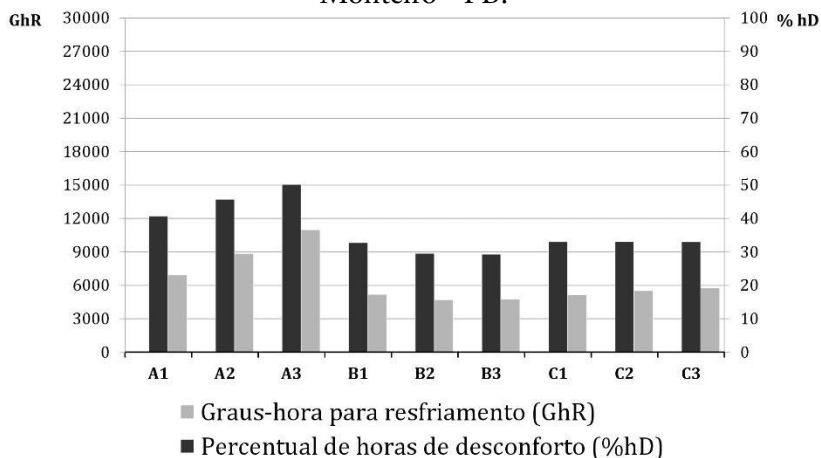
Em João Pessoa, nível do mar e clima quente e úmido, a veneziana (B) apresentou o melhor desempenho (Figura 6), principalmente quando a dimensão da abertura é 30% (2) e 45% (3), o percentual de horas de desconforto é em torno de 55% e o graus horas para resfriamento é de aproximadamente 7.000 horas. As aberturas com dimensões de 30% (2) e 45% (3) da área do piso e fechamento misto (C) apresentam valores um pouco acima: o percentual de horas desconforto é de 60% e o graus- horas de resfriamento levemente inferior a 9.000 horas.

Figura 6 - Desempenho térmico da edificação em análise na cidade de João Pessoa - PB.



Monteiro situa-se a 599 metros acima do nível do mar (zona 6 - Zoneamento Bioclimático). A abertura com fechamento em veneziana (B) continua tendo o melhor desempenho, principalmente quando a abertura possui dimensão de 30% (2) e 45% (3), o percentual de horas de desconforto é de um pouco abaixo de 30% e o grau horas para resfriamento aproximadamente 4.500 horas. O fechamento misto (C) apresentou desempenho um pouco inferior, o percentual de horas de desconforto é acima de 30% e o grau horas para resfriamento um pouco inferior a 6.000 horas (Figura 7).

Figura 7 - Desempenho térmico da edificação em análise na cidade de Monteiro - PB.



As cidades de Patos e Souza, respectivamente 242 e 220 metros acima do nível do mar, possuem clima semiárido (zona 7 - Zoneamento Bioclimático). O desconforto térmico é notadamente superior nas duas localidades, quando comparadas às outras cidades analisadas neste trabalho. As aberturas com veneziana (B) e com dimensão de 30% (B2) e 45% (B3) da área do piso apresentam o melhor desempenho para as duas cidades (Figura 8 e 9). O percentual de horas de desconforto é um pouco acima de 50%, nas duas localidades. Para a variável graus-horas de resfriamento observa-se em Patos aproximadamente 11.000 horas e em Souza 9.000. Ampliar a abertura de 30% para 45% em Patos e Souza tem um impacto significativo no aumento do desconforto e das horas de resfriamento, no caso mais crítico, Patos, as aberturas com dimensão de 30% e 45% as horas de resfriamento atingem o valor de 12.000 horas.

Figura 8 - Desempenho térmico da edificação em análise na cidade de Patos - PB.

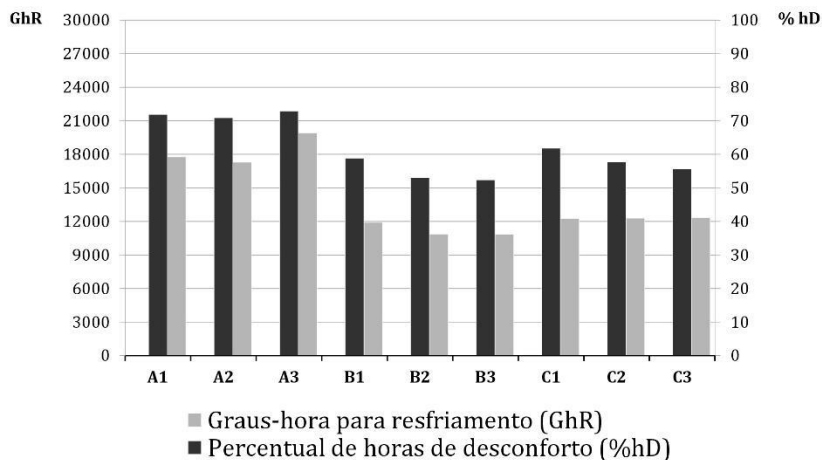
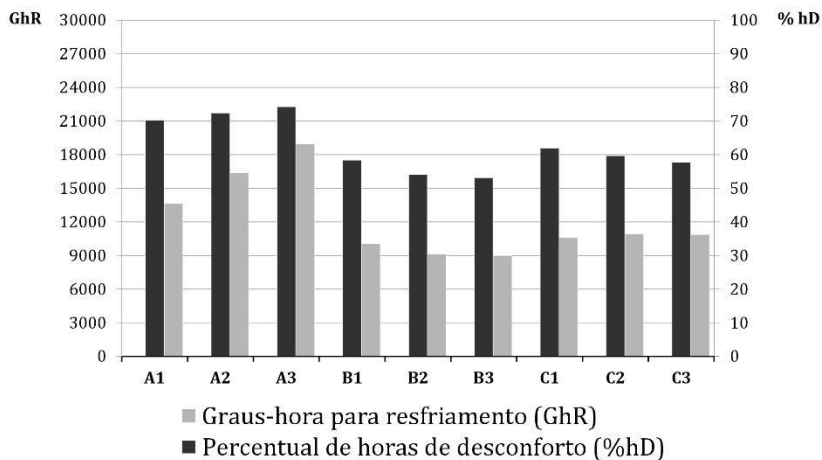


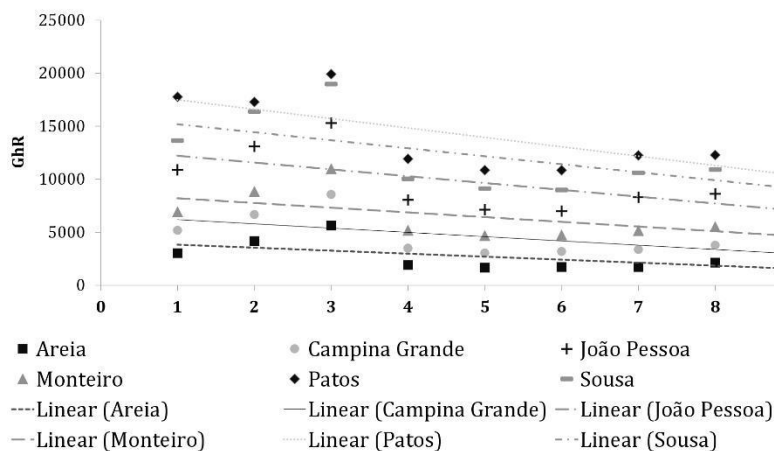
Figura 9 - Desempenho térmico da edificação em análise na cidade de Sousa - PB.



No gráfico da Figura 10 podem ser observados os valores de graus-hora para resfriamento das localidades em estudo conforme o tipo

de abertura (1, 2 e 3 abertura com fechamento transparente (vidro); 4, 5 e 6 - abertura com veneziana; 7, 8 e 9 - abertura com veneziana e vidro). Destaca-se que: a) a abertura com fechamento transparente somente tende a apresentar os maiores valores de graus-hora para resfriamento, especialmente quando apresenta área de 45% da área de piso. Por outro lado, a abertura com veneziana, especialmente aquelas com área de abertura de 30% e 45%, apresentou o melhor desempenho. Em seguida, as aberturas com fechamento misto apresentaram desempenho intermediário.

Figura 10 – Comparativo entre o valor de graus-hora das cidades analisadas.



Sobre a influência das aberturas nas taxas de renovação de ar, percebe-se um comportamento similar: a abertura em vidro com as menores taxas de renovação do ar, seguida pela abertura mista e, as maiores taxas, ocorrem na abertura com veneziana. O gráfico da Figura 11 representa a cidade de Areia, que apresentou comportamento similar à João Pessoa e Campina Grande. Na cidade de Monteiro (quente e seco) as taxas de renovação do ar são as mais baixas, Figura 12, similar à cidade

de Monteiro. O padrão de ocupação adotado considera que no momento em que os usuários estão em casa às aberturas (em vidro) são abertas (50% da área da abertura), contudo, essa variação não é suficiente para superar a ventilação constante obtida com a veneziana. A abertura mista, com comportamento médio, possibilita melhores condições de iluminação e contato com o exterior.

Figura 11 - Renovação de ar em Areia-PB

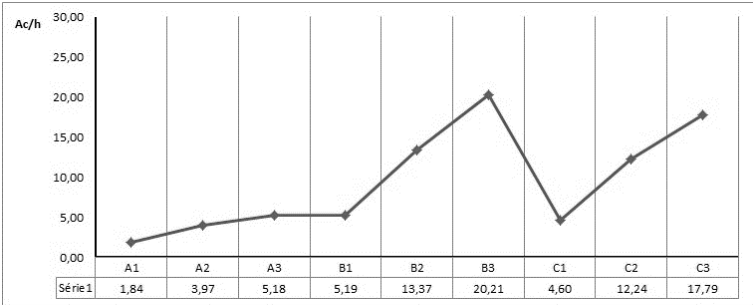
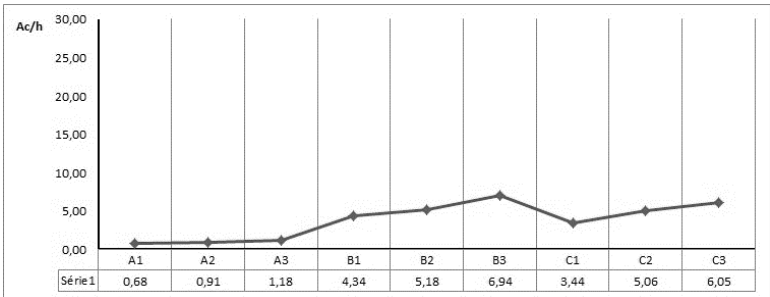


Figura 12 - Renovação de ar em Monteiro - PB

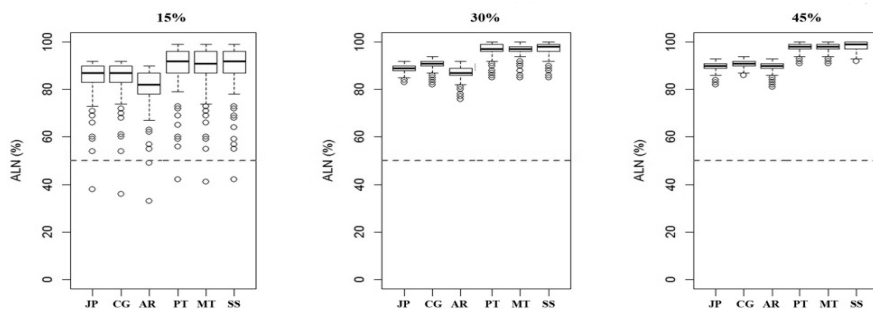


3.2 Simulação do desempenho lumínico

O primeiro aspecto a ser destacado sobre o desempenho da iluminação natural nas localidades analisadas é a inexistência de diferenças

significativas. O gráfico *boxplot* da Figura 13 representa os resultados obtidos para a abertura em vidro, nas dimensões 15%, 30% e 45% (da área do piso). As divisões do gráfico representam a distribuição dos dados nos percentuais 25%, 50%, 75% e 100% (50% e 75% - bloco central em amarelo). Na barra de título horizontal estão as localidades em estudo. Como esperado, para as aberturas com fechamento em vidro, os valores são elevados. A abertura com dimensão menor (15%) já seria suficiente para a Autonomia da Luz Natural (ALN) acima de 60% em todos os pontos analisados. Os menores valores podem ser observados para João Pessoa, Campina Grande e Areia, locais de clima quente e úmido, destacando-se Areia com os menores valores. Os níveis mais elevados estão relacionados com as cidades de clima semiárido.

Figura 13 - Autonomia da luz natural para a abertura em vidro, nas dimensões de 15%, 30% e 45%

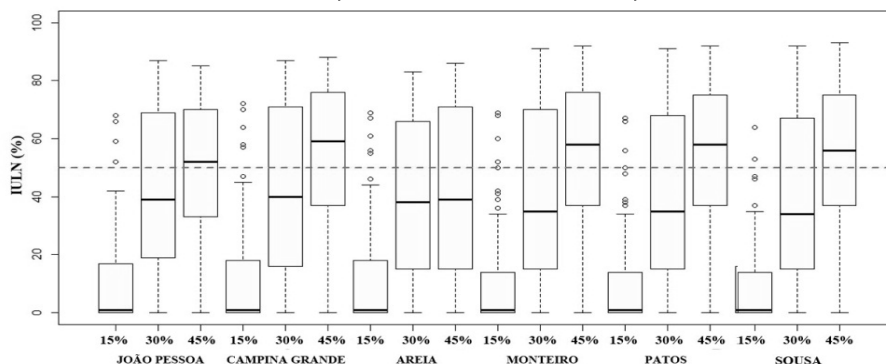


Para verificar a probabilidade de ofuscamento nas aberturas com fechamento em vidro observou-se o percentual de iluminâncias acima de 2000 lux. Na Figura 14, abaixo, pode-se observar que as situações mais críticas ocorrem na abertura de maior dimensão - 45% da área do piso. Nessa condição verifica-se que, com exceção da cidade de Areia, para

metade dos pontos analisados (metade do ambiente) o percentual de iluminâncias superior a 2000 lux encontra-se acima de 50%, chegando até 90%.

A abertura com 30% da área do piso apresenta uma situação intermediária, considerando o outro extremo, a abertura com 15% (da área do piso) onde, metade do ambiente apresenta iluminâncias abaixo de 2000 lux, enquanto os pontos restantes apresentam até 40% de iluminâncias acima 2000 lux.

Figura 14 - Percentual de iluminâncias acima de 2000 lux para a abertura em vidro, nas dimensões de 15%, 30% e 45%



Nos gráficos da Figura 15 podem ser observados os resultados para as aberturas com veneziana. Nas aberturas com a dimensão de 45%, da área de piso, a ALN é acima de 50% em mais de 75% dos pontos analisados (ambiente). Para a dimensão de 30%, a ALN acima de 50% é atingida em torno de 35% da área dos ambientes analisados. O comportamento entre as localidades analisadas é muito similar, para essa condição de abertura a diferença de clima (úmido e seco) é quase imperceptível. Nas dimensões analisadas, o fechamento com veneziana não é suficiente para garantir níveis adequados de iluminação natural.

Complementarmente, optou-se por verificar o impacto da adoção de um coeficiente de reflexão maior na superfície das venezianas. Três coeficientes de reflexão foram analisados: 20%, 58% e 75% e duas localidades foram utilizadas: João Pessoa (quente e úmido) e Souza (semiárido). As aberturas têm dimensão de 45% da área do piso. Na Figura 16 pode-se observar que com o coeficiente de 58%, a autonomia da luz natural acima de 50% ocorre em 75% dos pontos analisados, ao elevar o coeficiente de reflexão para 75% a autonomia da luz natural acima de 75% é obtida em todos os pontos analisados.

Figura 15 - Autonomia da luz natural para a abertura em veneziana, nas dimensões de 15%, 30% e 45%

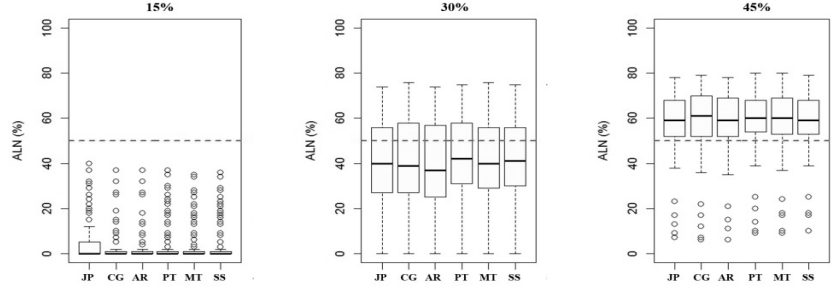
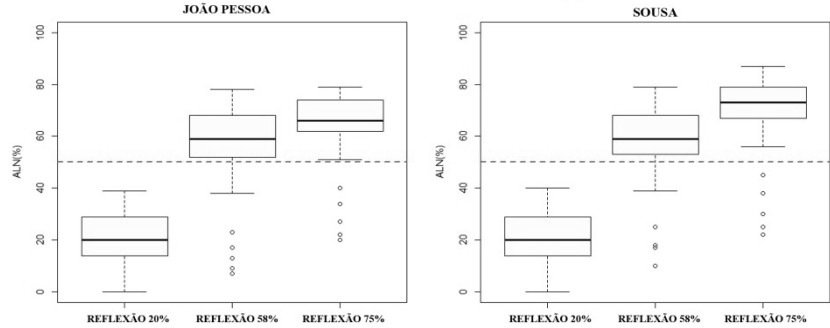
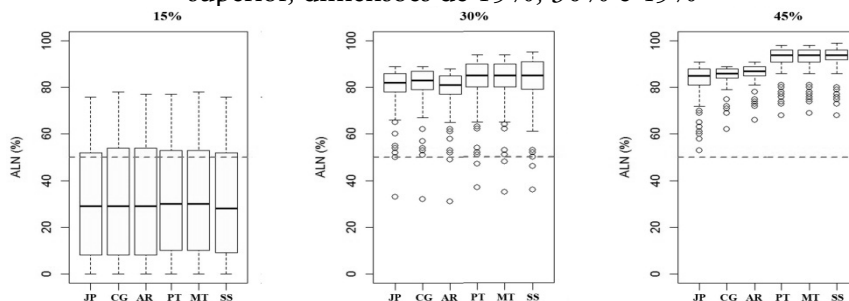


Figura 16 – Percentual Autonomia da luz natural para a abertura veneziana alterando o coeficiente de reflexão



Assim, pode-se concluir que, com a elevação do coeficiente de reflexão, a abertura em veneziana, com dimensão de 45% apresenta níveis adequados de iluminação natural. Os resultados obtidos para a abertura com fechamento misto, com vidro na parte superior da abertura, podem ser visualizados na Figura 17.

Figura 17 – Autonomia da luz natural para a abertura mista – vidro superior, dimensões de 15%, 30% e 45%

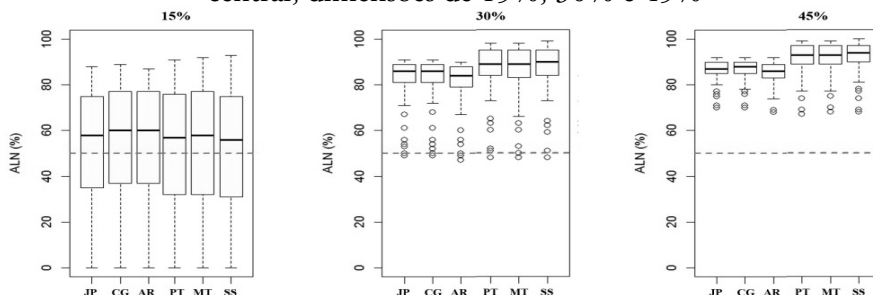


A dimensão de 15% apresenta ALN acima de 50% para aproximadamente 60% dos ambientes. Com a ampliação da área da abertura para 30% o desempenho é melhor, verifica-se a predominância da ALN superior a 70%, em toda a área dos ambientes analisados. Na condição da abertura com área de 45% os valores de ALN são mais elevados e muito próximos de 80%. O efeito do clima é percebido quando a dimensão da abertura é de 30% ou 45%, no clima semiárido a ALN é superior.

Na Figura 18 observa-se o percentual de iluminâncias acima de 2000 lux, para a abertura com fechamento misto, com vidro centralizado na abertura, nas dimensões de 30% e 45% da área de piso. Com a dimensão de 30%, 50% dos pontos (do ambiente) apresentam valores inferiores a 2000 lux, enquanto o restante do ambiente apresenta até 20%

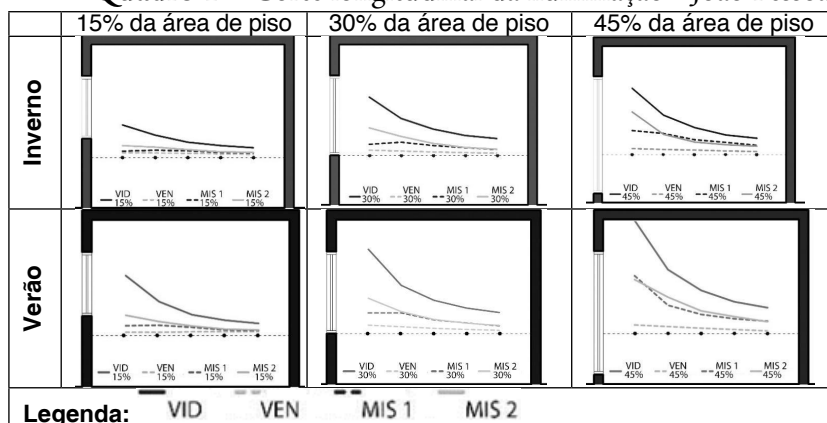
das iluminâncias acima de 2000 lux. Para a dimensão de 45%, também, 50% dos pontos (do ambiente) apresentam valores inferiores a 2000 lux, porém, o restante do ambiente apresenta até 60% das iluminâncias acima de 2000 lux.

Figura 18 - Autonomia da luz natural para a abertura mista - vidro central, dimensões de 15%, 30% e 45%



No Quadro 1 são apresentados cortes esquemáticos da distribuição da luz natural no eixo longitudinal da sala. Os dados representam os resultados obtidos em João Pessoa, para a condição de inverno e verão. Pode-se observar que a abertura com vidro apresenta uma distribuição dos níveis de iluminação menos homogênea, com valores muito elevados nas proximidades da abertura e acentuada redução ao se aproximar do fundo do ambiente. Na abertura com veneziana a distribuição é mais homogênea, porém, os valores são mais baixos. A abertura com fechamento misto apresenta um comportamento intermediário. Como esperado, no verão as iluminâncias são maiores, notadamente nos pontos mais próximos da abertura.

Quadro 1 – Corte longitudinal da iluminação - João Pessoa



4 CONCLUSÃO

Esta pesquisa investigou o impacto de variações nas aberturas no desempenho térmico e lumínico de ambientes inseridos em uma edificação residencial, considerando diferentes condições climáticas (clima quente-úmido e semiárido).

A partir dos resultados de desempenho térmico obtidos pode-se concluir que, para as localidades analisadas e considerando as características da edificação objeto desse estudo, a abertura com fechamento em veneziana, nas dimensões de 30% e 45%, apresentou melhor desempenho, seguida pela abertura com fechamento misto. A variação da dimensão da abertura de 30% para 45% (percentual da área de piso) não apresentou diferença significativa no desempenho térmico da edificação em estudo, resultado similar ao estudo de Tahmasebi et al (2011), no qual concluiu-se que, em áreas tropicais, dimensões de aberturas entre 34-41% não representam grandes diferenças no consumo de energia.

Considerando o desempenho da iluminação natural, as aberturas com fechamento em vidro apresentaram as maiores iluminâncias. Com a abertura em vidro e para a dimensão de 15%, da área de piso, a Autonomia da Luz Natural (ALN) é acima de 60% em todos os pontos analisados. Os menores valores encontram-se nos locais de clima quente e úmido, os níveis mais elevados estão nas cidades de clima semiárido.

Na análise do ofuscamento as aberturas em vidro com 30% e 45% apresentam maior probabilidade de desconforto. Para a abertura em vidro com 15%, da área do piso, metade do ambiente apresenta iluminâncias abaixo de 2000 lux, enquanto os pontos restantes apresentam até 40% de iluminâncias acima 2000 lux.

Nas aberturas com fechamento em veneziana, a Autonomia da Luz Natural não é suficiente, mesmo com a dimensão de 45%, da área de piso, porém, ao elevar o coeficiente de reflexão da veneziana para 75% a Autonomia da Luz Natural acima de 75% é obtida em todos os pontos analisados.

As aberturas com fechamento misto (vidro + veneziana) possuem duas configurações: o fechamento em vidro na parte superior (01) e na parte central (02). Em ambas as condições, as aberturas nas dimensões de 30% e 45% apresentam condições satisfatórias com Autonomia de Iluminação Natural - ALN superior a 60%. Considerando que a localização do vidro na parte central da abertura possibilita maior contato com o exterior, pode-se concluir que o fechamento misto 2 - vidro na posição central, com dimensão de 30% e 45% da área do piso, apresenta melhor desempenho. Em relação às iluminâncias acima de 2000 lux (probabilidade de ofuscamento), nas dimensões de 30% e 45%, 50% dos pontos (do ambiente) apresentam valores inferiores a 2000 lux.

Em relação à distribuição dos níveis de iluminação, no fechamento em vidro a distribuição dos níveis de iluminação é menos

homogênea, sendo os valores muito elevados nas proximidades da abertura. Já na abertura com veneziana a distribuição é mais homogênea, porém, os valores são mais baixos. A abertura com fechamento misto apresenta um comportamento intermediário.

Por último, destaca-se a abertura com fechamento misto, que apresenta vantagens da veneziana e do vidro, respectivamente: a ventilação natural constante, a iluminação natural e o maior contato com o exterior. Embora o desempenho térmico dessa solução foi um pouco abaixo da abertura com fechamento de veneziana (quanto mais ameno o clima, menor a diferença), considera-se essa solução de melhor desempenho, tanto térmico como lumínico. Estudos mais aprofundados são recomendados.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005a.

_____. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005b.

_____. **NBR 5413: Iluminância de interiores.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992.

ASHRAE. **ASHRAE Handbook – Fundamentals.** Atlanta, Geórgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2005

BARRIOS, G. et al. **Envelope wall/roof thermal performance parameters for non air-conditioned buildings**. Energy and Buildings, v. 50, p. 120-127, 2012.

BUELOW-HUEBE, H. **A energy-efficient window systems: effects on energy use and daylighting in buildings**. 2001. 247 f. Tese (Doutorado) - Lund University, Lund (Suécia), 2001.

CHO, J.; YOO, C.; KIM, Y. **Visibility of exterior shading devices for high-rise residential buildings: Case study for cooling energy saving and economic feasibility analysis**. Energy and buildings, v. 82, p. 771-785, 2014.

DAMASCENO, S. R. G. **Desempenho térmico e habitação: uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática 8**. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. **Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55**. Energy and Buildings, v. 31, p. 549-561, 2002.

GOULART, S. V. G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

INMETRO. **Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2009.

LYNES, J. A. **Principles of natural lighting**. Londres: Elsevier, 1968.

MARTINS, L. H. A. **A influência do sombreamento e da absorância da envoltória no desempenho térmico e energético de edificações**

residenciais multipavimentos na cidade de João Pessoa. 2013. 201 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

PEDRINI, A. et al. **Desempenho térmico de tipologias de habitações de interesse social para seis cidades brasileiras.** UFRN. Natal, p. 89. 2009.

REINHART, C. F. **Simulation-based review of the ubiquitous window-headheight to daylit zone depth rule-of-thumb.** Anais do Buildings Simulation 2005. Canadá, 2005.

_____. **Tutorial on the use of daysim simulations for sustainable design.** Tutorial. Cambridge, Harvard University, 2010.

REINHART, C. F; WEISSMAN, D. A. **The daylit area – correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics.** Building and Environment, v. 50, 2012.

TAHMASEBI, M. M.; BANIHASHEMI, S.; HASSANABADI, M. S. **Assesment of the variation impacts of window in energy consumption and carbon footprint.** Procedia Engineering, v. 21, p. 820-828, 2011.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

Desempenho energético de edificações residenciais multipavimentos em João Pessoa-PB

Lúcia Helena Aires Martins

Solange Maria Leder

Luiz Bueno Silva

Erivaldo Lopes de Souza

1 INTRODUÇÃO

O projeto da edificação a partir de critérios de adequação ao clima pode proporcionar a satisfação do usuário quanto às condições térmicas dos ambientes internos, evitando-se, em consequência, o desperdício de energia elétrica com condicionamento artificial da edificação (LAMBERTS; CARLO; TOCCOLINI, 2005).

O setor residencial é um grande consumidor de energia, sendo a redução desse consumo um dos objetivos do programa nacional de conservação de energia (BRASIL, 2012). Todo edifício construído depende de uma quantidade de energia para sua manutenção, utilizada para iluminação artificial, elevadores, sistemas de segurança, automação, climatização, entre outros. Algumas escolhas e definições são feitas na concepção do projeto, por exemplo, ao se escolherem os tamanhos das aberturas, define-se o montante de radiação térmica transmitida para o interior da edificação, assim como, a iluminação natural disponível

internamente e, conseqüentemente, a dependência de iluminação artificial durante o dia. Ao definir a implantação, a forma e a área dos pavimentos tipo, o sistema de aberturas, os materiais construtivos, entre outras variáveis do projeto, define-se também a necessidade de sistemas de condicionamento artificial (BENEDETTO, 2007).

É consensual, entre diversos autores, a importância do projeto de arquitetura para o desempenho energético de uma edificação. Olgyay (1998) afirma que os princípios bioclimáticos de uma arquitetura adaptada ao meio ambiente podem ser empregados nos edifícios residenciais, como estratégia de composição e de caracterização do espaço, desde a concepção do projeto. Logo após a crise do petróleo, ocorrida na década de 70, diversos países direcionaram recursos e linhas de pesquisa para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia e sistemas mais eficientes. Grande atenção foi voltada ao desempenho energético das edificações (setores residencial, comercial e público), responsáveis por uma parcela significativa do consumo de energia elétrica na maioria dos países (MENDES; LAMBERTS; CUNHA 2005).

Nesse contexto, o estudo realizado por Santana (2006) permitiu demonstrar os parâmetros que mais influenciam no consumo de energia na tipologia construtiva de edifícios. No estudo, analisou-se, através de simulações computacionais desenvolvidas com o software *EnergyPlus*, os seguintes parâmetros: fator de projeção, entorno, coeficiente de sombreamento dos vidros, percentual de área de janela na fachada, transmitância térmica das paredes e da cobertura e orientação. Dentre os parâmetros analisados, a porcentagem de janela na fachada foi a variável que apresentou resultados mais significativos, sendo que a cada 10% de aumento de área de janela, o consumo de energia sobe 2,9%. Para edifícios com grandes áreas de parede, o fator de absorvância demonstrou grande influência, observando redução de 1,9% do consumo de energia para

cada alteração de 10% na absorvância. Na comparação entre modelos com paredes claras e escuras, o consumo de energia variou em 15,1%. A utilização de proteções solares, quando simulados para todas as orientações, demonstrou uma redução de 12% no consumo de energia.

Na pesquisa de Wong e Li (2007), sobre a eficácia de dispositivos de sombreamento na redução do consumo de energia para refrigeração, nas orientações leste e oeste, em Singapura, os autores identificaram uma redução de 2,62% a 3,24% na carga para refrigeração em ambientes cujas janelas possuíam dispositivo de proteção solar horizontal com 30 cm de profundidade. Para a profundidade de 60 cm, o estudo revela uma economia de 5,85% a 7,06% e, para o dispositivo com 90 cm de profundidade, a redução na carga para refrigeração do ambiente varia de 8,27% a 10,13%.

Objetivando contribuir para a eficiência energética das edificações inseridas no clima quente e úmido, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência no desempenho térmico (consumo de energia para refrigeração) de variáveis na envoltória das edificações (dispositivos de sombreamento e coeficiente de absorção solar) inseridas em diferentes configurações de cenário urbano.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

O recorte urbano escolhido para a presente pesquisa abrange o bairro de Manaíra, localizado na região leste do município de João Pessoa-PB, com densidade bruta entre 43 e 70 hab/ha e predominância de edificações residenciais. Nos últimos anos, tem-se observado uma

tendência na substituição do padrão horizontal das edificações (casas) pela verticalização (edifícios). As Figuras 1 e 2 ilustram o mapa do bairro e uma fotografia com panorama geral do bairro.

Figura 1 – Mapa do recorte urbano em estudo



Fonte: Adaptado da PMJP (2013)

Figura 2 - Vista panorâmica



Fonte: Arquivo dos autores

De acordo com o Código de Obras de João Pessoa, a classificação da área em estudo se enquadra na Zona Residencial 1 (ZR1), com amostra contemplando edifícios com mais de 5 pavimentos, considerado a implantação da tipologia predominante do uso R6. Tal categoria de edifício não possui limite de altura, sendo a mesma limitada pelos afastamentos dentro do lote.

2.2 Levantamento de dados

A coleta de dados foi realizada junto a Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de João Pessoa (SEPLAN), sendo a primeira etapa do trabalho destinada a obtenção do número total de edifícios residenciais situados no bairro de Manaíra com mais de cinco

pavimentos. Como recorte temporal, as unidades escolhidas apresentam *Habite-se* a partir de 2000, sendo esta restrição estabelecida de modo a caracterizar a tendência atual da construção civil para a área, configurada por edifícios em altura. O bairro possui 230 edificações residenciais com mais de cinco pavimentos, definiu-se um recorte de 10% do total, representativos das características das construções, locais, a amostra final é de 25 edificações, escolhidas aleatoriamente. As informações necessárias para realização das análises foram obtidas a partir do projeto legal (plantas, cortes e fachadas). Ao final da etapa, os dados foram mapeados e organizados em fichas descritivas.

2.3 Identificação do tipo predominante

Após a tabulação de dados quantitativos e qualitativos obtidos na pesquisa de campo, pôde-se formular uma edificação típica (tipo predominante) que reúne as características mais frequentes encontradas nos 25 edifícios levantados. O conjunto de variáveis obtido dos levantamentos foi: tipologia do terreno e da edificação; área dos apartamentos tipo; número de apartamentos por andar; número de pavimentos e número de pavimentos tipo; altura do pavimento tipo; orientação das fachadas; percentual de área de janela e de parede nas fachadas; elementos de proteção solar e características construtivas gerais (estrutura, laje, paredes, revestimentos, cor e vidros).

2.4 Simulação computacional

O comportamento térmico dos modelos em estudo foi simulado com o programa *DesignBuilder*. O período de simulação corresponde a um ano, com dados horários. Do ponto de vista de

condicionamento térmico, foi considerado o uso do ar condicionado no setor íntimo (quartos) no período noturno. Durante o dia, utilizou-se a ventilação natural em todos os setores do apartamento. Para a inserção dos materiais que constituem os elementos construtivos da tipologia predominante foi utilizada a biblioteca de componentes especificadas pela norma ABNT 15220-2 (ABNT, 2005). As variáveis construtivas testadas nas simulações foram: proteção solar, entorno e absorvência, detalhadas a seguir.

2.4.1 Proteção solar

Foram adotados seis tipos de proteção solar nos modelos em análise (Figura 3): proteção solar horizontal sobre os fechamentos transparentes, com profundidade de 50 cm e 100 cm; proteção solar mista sobre os fechamentos transparentes - horizontal e vertical, com profundidade de 50 cm; proteção horizontal contínua, sobre o fechamento opaco e transparente, com profundidade de 50 cm; veneziana cobrindo toda a área dos fechamentos transparentes, com inclinação de 15°. Os elementos verticais e horizontais são em placas de concreto, com exceção da tipologia veneziana, que é de alumínio.

2.4.2 Entorno

Para a análise do entorno foram simulados três casos: o primeiro caso (Cenário I), corresponde à situação isolada da edificação, ou seja, sem entorno; o segundo caso corresponde às edificações existentes atualmente no recorte adotado (Cenário II); o terceiro cenário (Cenário III) corresponde a uma situação máxima de adensamento, respeitando as diretrizes estabelecidas pelo Código de Obras do local.

Figura 3 - Variações de tipologias de proteção solar



Fonte: Elaborado pelos autores, 2013.

2.4.3 Coeficiente de absorção solar

Para a análise da influência da absortância das paredes externas no ganho térmico no interior das zonas analisadas, considerou-se para o caso base (SP) o valor da absortância encontrado a partir do índice de refletância médio definido por Leal (2013) em estudo realizado no mesmo recorte urbano. A refletância média da amostra foi 58,65, logo, o valor de absortância média é 41,35. Com o intuito de avaliar a influência da absortância das paredes externas no comportamento térmico e energético da edificação analisada, foram adotados valores extremos de absortância - máxima e mínima, 0,90 e 0,20.

2.5 Tratamento dos dados

Os resultados das simulações foram tratados estatisticamente, adotou-se o teste Wilcoxon na comparação entre postos. Através desses testes foi elaborada uma escala gradual comparativa de desempenho entre os modelos analisados, como também foi encontrada a diferença estimada entre os modelos, através do intervalo de confiança livre de distribuição. Para todos os testes, foi adotado o nível de significância de 0.05. Estendendo as análises, os resultados foram convertidos em valores monetários, convertendo o consumo em reais (R\$), de modo a obter um comparativo mais concreto, utilizando-se das taxas cobradas pela concessionária de energia local (Energisa).

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização do tipo predominante

A partir da análise dos levantamentos dos aspectos destacados anteriormente e de maior recorrência no universo analisado, pôde-se definir o tipo de edifício predominante no local, com as características

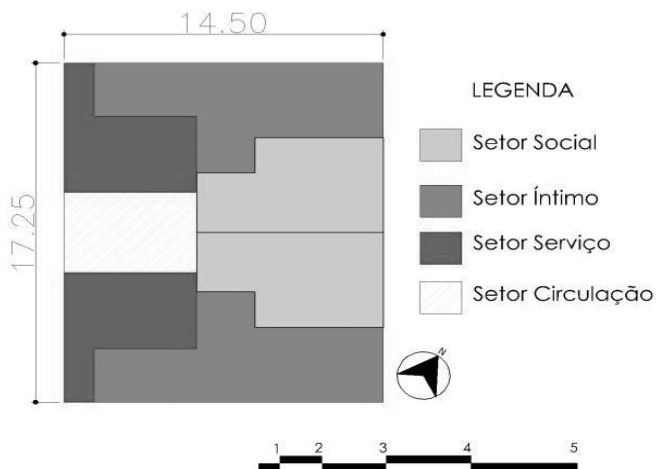
mais representativas (Tabela 1). Na Figura 4 apresenta-se a planta representando os setores de cada apartamento adotados para o modelo. Essa mesma setorização foi adotada para o estabelecimento de zonas térmicas, totalizando 3 zonas por apartamento (zona social, íntima e serviço). O setor de circulação não foi considerado uma zona térmica, portanto, não foi simulado. Observam-se também as características gerais da tipologia predominante, assim como o número e altura dos pavimentos, percentual de janela na fachada, etc.

Tabela 1 - Caracterização do tipo predominante

PARÂMETRO	TIPO PREDOMINANTE
Forma do terreno	Retangular
Forma da edificação	Retangular (14.50x17.25m)
Área do pavimento tipo	250m ²
Altura pavimento tipo	2.70m
Número de pavimentos	26
Número de pavimentos-tipo	20
Nº apartamentos por andar	02
Percentual de Janela na Fachada (PJF)	Nordeste: 30% Sudeste: 20% Sudoeste: 10% Noroeste: 20%
Orientação fachada principal	Nordeste
Absortância	0,4135
Esquadrias	Alumínio
Vidros	Comum 4mm Incolor
Alvenaria	Tijolo cerâmico oito furos quadrado

Fonte: Elaborado pelos autores, 2013.

Figura 4 - Planta baixa com setorização do pavimento tipo predominante



3.2 Desempenho energético

Os resultados mostrados a seguir correspondem às simulações realizadas com a tipologia predominante e suas variações. Os dados se referem ao consumo de energia em kWh requerido pelo sistema de refrigeração tipo split, o qual teve seu funcionamento programado para manter uma temperatura entre 18° e 26° C, no período de ocupação das 22h às 6h.

Baseando-se nos resultados encontrados a partir da aplicação do teste de comparação de postos pareados, wilcoxon, foi elaborada uma escala gradual decrescente de eficiência energética dos modelos estudados. O modelo caracterizado como mais eficiente foi o sem proteção com absorvância 0.20, seguido do modelo com proteção solar do tipo veneziana. A tipologia predominante não demonstrou uma boa eficiência, ficando na frente apenas do modelo com absorvância 0.90 nos cenários atual e máximo adensado, o qual se configurou a partir dos testes como

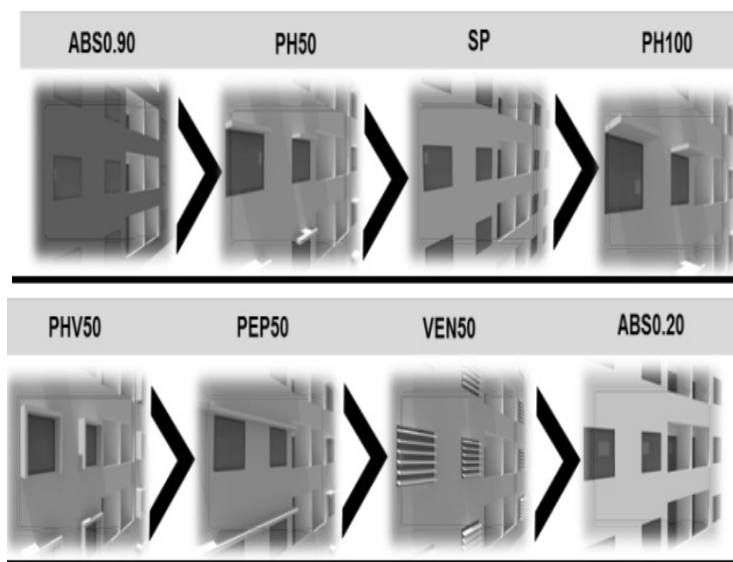
a opção que mais consumiu energia para refrigeração do setor íntimo do apartamento (Figura 5).

A sequência da escala foi similar para o cenário II e III, com pequena diferença no cenário isolado. É possível identificar que nos modelos com proteção solar a necessidade de carga para refrigeração é menor. Dentre as opções que utilizaram proteção solar, destaca-se a tipologia veneziana como a mais eficiente para todos os cenários, e a proteção horizontal de 50 cm como a menos eficiente.

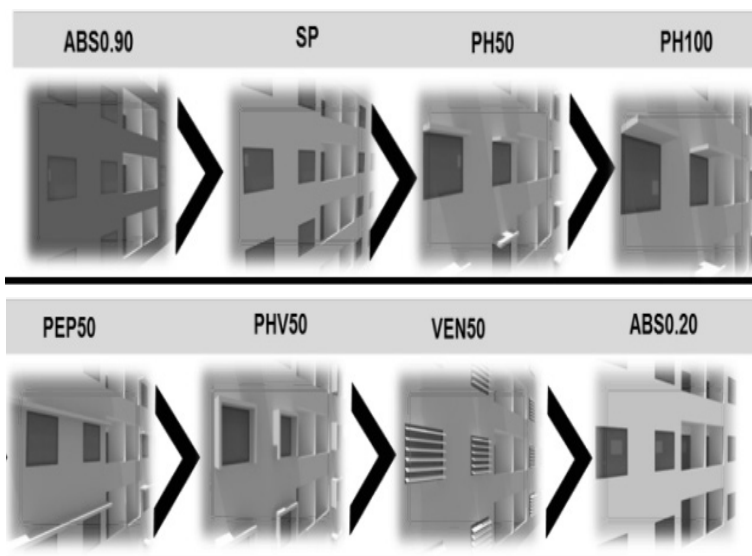
Sob o ponto de vista quantitativo, foram feitas comparações dos resultados horários de cada modelo, estas estão apresentadas na Tabela 2. O modelo sem proteção com absorvância 0.90 apresenta carga de até 0,54 kWh a mais que a tipologia base, dentro de um intervalo de confiança que varia de 0,53 kWh a 0,55 kWh. Para o cenário com alto grau de obstrução essa diferença diminui um pouco, passa a ser 0,44 kWh.

Figura 5 - Escala gradual decrescente de desempenho energético

CENÁRIO I



CENÁRIO II e III



Fonte: Elaborado pelos autores, 2013.

No modelo mais eficiente, sem proteção solar e absorvância de 0.20, observa-se redução de 0,23 kWh no consumo de energia para refrigeração, em relação à tipologia base, quando inserido em um cenário isolado. No cenário atual (II) observa-se uma redução no consumo de energia, em relação a tipologia base, na ordem de 0,21 kWh. A menor redução ocorre no cenário máximo adensado, onde a diferença estimada entre esses modelos é 0,17 kWh.

Tabela 2 - Valores do intervalo de confiança para consumo de energia para refrigeração (kWh)

INTERVALO LIVRE DE DISTRIBUIÇÃO (kWh)		
Modelos	Diferença estimada	Intervalo livre de distribuição
CI_ABS0.90 x CI_SP	0.54	0.53 A 0.55
CII_ABS0.90 x CII_SP	0.54	0.53 A 0.55
CIII_ABS0.90 x CIII_SP	0.44	0.43 A 0.45
CI_ABS0.20 x CI_SP	- 0.23	- 0.24 A - 0.22
CII_ABS0.20x CII_SP	- 0.21	- 0.22 A - 0.21
CIII_ABS0.20 x CIII_SP	- 0.17	- 0.18 A - 0.17
CI_ABS0.90 x CI_ABS0.20	0.78	0.78 A 0.80
CII_ABS0.90 x CII_ABS0.20	0.76	0.74 A 0.78
CIII_ABS0.90 x CIII_ABS0.20	0.62	0.60 A 0.63
CI_VEN x CI_SP	- 0.24	- 0.25 A - 0.23
CII_VEN x CII_SP	- 0.20	- 0.21 A - 0.18
CIII_VEN x CIII_SP	- 0.20	- 0.20 A - 0.19
CI_ABS0.90 x CI_VEN	0.80	0.78 A 0.82
CII_ABS0.90 x CII_VEN	0.76	0.74 A 0.78
CIII_ABS0.90 x CIII_VEN	0.65	0.63 A 0.66
CI_ABS0.20 x CI_VEN	- 0.03	- 0.04 A - 0.02
CII_ABS0.20 x CII_VEN	- 0.05	- 0.05 A - 0.04
CIII_ABS0.20 x CIII_VEN	- 0.02	- 0.02 A - 0.01

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2013

O modelo com proteção solar mais eficiente, a veneziana, apresentou uma redução máxima de 0,24kWh em relação à tipologia predominante, quando situada no cenário isolado. Ao comparar o modelo menos eficiente com a proteção solar tipo veneziana, observa-se, para o

cenário isolado, diferença estimada de 0,80 kWh. Para o cenário atual a diferença é de 0,76 kWh. A menor diferença entre esses modelos ocorreu no cenário máximo (III), na ordem de 0,65 kWh (Tabela 2).

Convém destacar o comparativo entre os modelos mais eficientes, sem proteção com absorptância 0.20 e com proteção tipo veneziana e absorptância 0.41. As diferenças foram pequenas, chegando ao máximo de 0,05 kWh.

A influência do entorno também foi analisada. Observou-se uma redução no consumo de energia ao aumentar o grau de obstrução do entorno, mas nem sempre esse balanço é favorável, algumas tipologias apresentaram um aumento no consumo.

As tipologias, predominante e com absorptância 0.90, apresentaram uma redução no consumo de energia em condições de entorno mais adensado. A tipologia predominante apresentou diferenças pequenas ao variar o grau de obstrução do entorno. Quantitativamente, o pico dessa diferença foi de 0,05kWh entre o cenário atual e o máximo adensado.

Já os modelos mais eficientes, com veneziana e o modelo com absorptância 0.20 apresentaram resultados opostos, ao aumentar o grau de obstrução do entorno, o consumo aumentou. Embora esse aumento tenha sido pequeno, comparando o modelo com veneziana no cenário atual (II) com o cenário isolado (I) a diferença encontrada foi 0,04 kWh.

Estendendo as análises, foram feitas comparações entre o consumo mensal e anual dos modelos, nessas análises foram utilizados os resultados apresentados no cenário I (isolado). O consumo energético mensal do edifício de referência (sem proteção e absorptância 0.41 - SP) foi comparado com o consumo do modelo sem proteção (SP) com absorptância 0.20 (ABS 0.20). As maiores diferenças de consumo foram registradas nos meses de agosto (14,97%), julho (14,26%) e abril (11,97%), conforme observado na Tabela 3. Anualmente, verifica-se uma redução de 1748,47 kWh, que corresponde a 10,43%.

A mesma análise foi feita com a tipologia veneziana, seu uso promoveu uma economia anual de energia de 1495,50 kWh. Ao dividir esse valor pelo número de apartamentos analisados (6 apartamentos), observou-se que cada um obteve uma redução anual de 249,25 kWh no consumo energético. Desta forma, considerando-se uma taxa de R\$ 0,38765² por kWh, a utilização do protetor solar resultou em uma economia anual de R\$ 96,62 por apartamento (aproximadamente US\$ 48,00).

Ao fazer a mesma comparação para o modelo sem proteção, mas com absorvância baixa (ABS 0.20), encontrou-se uma redução na ordem de 1748,47 kWh, dividindo pelo número de apartamento analisados, tem-se uma redução de 291,41 kWh, o que representa uma economia anual por apartamento de R\$ 112,96 (aproximadamente US\$ 56,00).

Tabela 3 - Consumo mensal kWh - tipologia base x absorvância 0.20

MÊS	SP	ABS 0.20	Diferença absoluta (kWh)	Diferença relativa (%)
Jan	2056,02	1855,36	200,66	9,76
Fev	2539,90	2288,17	251,73	9,91
Mar	2312,48	2077,69	234,79	10,15
Abr	1556,33	1369,98	186,35	11,97
Mai	1229,90	1088,76	141,14	11,48
Jun	487,56	430,35	57,21	11,73
Jul	286,92	246,02	40,91	14,26
Ago	373,53	317,63	55,90	14,97
Set	917,02	822,93	94,09	10,26
Out	1251,16	1132,45	118,71	9,49
Nov	1743,52	1578,22	165,30	9,48
Dez	2007,11	1805,43	201,68	10,05
Total	16761,44	15012,97	1748,47 (Economia)	10,43 (Economia)

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2013

2 Taxa cobrada pela empresa concessionária local – Energisa Paraíba – Distribuidora de energia; para a tipologia B1 Residencial. Vigência da taxa: 28/08/2012 a 27/08/2013.

4 CONCLUSÃO

O uso da proteção solar representou uma significativa redução no consumo de energia para refrigeração. A veneziana resultou na redução anual de 1.495,50 kWh, em percentual essa redução foi 8,92%, ficando atrás apenas do modelo com absorvência 0.20, que apresentou uma redução de até 1.748,17 kWh, ou seja, 10,43% de economia.

Sobre a influência do entorno destacam-se dois aspectos:

a) O sombreamento reduz a incidência solar sobre a envoltória, reduzindo assim a carga térmica nos ambientes analisados. Verificou-se que, principalmente nas situações de elevada absorvência e ausência de proteção solar, o entorno tende a favorecer a redução do consumo de energia para refrigeração;

b) O entorno adensado reduz a possibilidade de dissipar o calor armazenado, resultando no aumento do consumo de energia, esse efeito foi observado especialmente nas situações onde o edifício possui soluções de sombreamento.

Maior atenção deve ser dada à influência do entorno no desempenho energético das edificações. Considerando o clima quente e úmido, a ventilação é uma variável de grande impacto no resfriamento das edificações, principalmente no período noturno, quando as temperaturas são mais amenas. O adensamento reduz essa possibilidade.

Agradecimentos

À Capes, pelo auxílio financeiro, através de bolsa de estudo e ao Laboratório de Métodos Quantitativos Aplicados - LabMEQA, DEP/CT/UFPB, pelo auxílio na análise estatística.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico de energia elétrica 2012 - ano base 2011.** Empresa de pesquisa energética - EPE, Rio de Janeiro, 2012.

BENEDETTO, Gisele Saveriano de. **Avaliação da aplicação do modo misto na redução da carga térmica em edifícios de escritórios nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro.** Dissertação de mestrado - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

CÓDIGO DE OBRAS DE JOÃO PESSOA-PB. Prefeitura Municipal de João Pessoa - Secretaria de Planejamento. João Pessoa/PB, agosto de 2001.

LAMBERTS, Roberto; CARLO, Joyce C.; TOCCOLINI, Gisele. **Levantamento de Dados Visando A Definição De Protótipos De Edificações Brasileiras - Relatório LABEEE** - Universidade Federal de Santa Catarina, VERSÃO: FEV 2005.

LEAL, Lilianne de Queiroz. **A influência do entorno sobre as iluminâncias e o ofuscamento em ambientes internos: um estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos no bairro de Manaíra, João Pessoa-PB.** Dissertação de mestrado - Programa de pós-graduação em Arquitetura e urbanismo - UFPB. João Pessoa, 2013.

MENDES, Nathan; WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto; CUNHA, José A. Bellini da. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis-SC**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2006.

WONG, NH e S. Li. **A study of the effectiveness of passive climate control in naturally ventilated residential buildings in Singapore**. Buildings and Environment, v. 42, p. 1395-1405, 2007.

SOBRE OS AUTORES

Amanda Vieira Pessoa Lima. Graduação em Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2016). Bolsista de graduação sanduíche no Politécnico de Milano (2014). Mestrado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPB (2019). Participação no LabCon/UFPB iniciada em 2012 como bolsista PIBIC, bolsista PIVIC (2013), bolsista CAPES na Pós-graduação/mestrado (2017-2019), bolsista DTI/Cnpq (2019).

Ana Gabriela Lima Alves de Oliveira. Discente no curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Participação no LabCon/UFPB iniciada em 2016 como bolsista PIBIC (2016, 2017, 2018).

Andréia Cardoso de Oliveira. Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB (2006). MBA em Construção Sustentável pela UNIP (2013). Mestrado no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFPB (2013). Discente no curso de doutorado do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFPB (desde 2015). Bolsista de doutorado sanduíche (PDSE) na Universidade do Minho, Portugal (2017). Participação no LabCon/UFPB iniciada em 2012, como bolsista CAPES na Pós-graduação/mestrado (2011-2013) e doutorado (desde 2016).

Barbara Lumy Noda Nogueira. Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2003). MBA em Gerenciamento e Fiscalização de Obras pela Universidade Católica de Petrópolis - UCP (2016). Mestrado no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFPB (2018). Discente no curso de doutorado do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFPB (desde 2019). Arquiteta na Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência - DATAPREV (desde 2013). Participação no LabCon/UFPB iniciada em 2015.

Carolina Pereira de Brito Ramos. Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2014).

Celina Maria Godinho Silva Pinto Leão. Graduação em Engenharia de Produção na Universidade do Minho (1991). Mestrado em Matemática Industrial na Universidade de Strathclyde/Glasgow Caledonian. Doutorado em Engenharia na Universidade do Porto. Docente na Escola de Engenharia da Universidade do Minho (UMinho), Portugal. Pesquisadora do Centro de Pesquisas Algoritmi no grupo de pesquisa SEOR (Engenharia de Sistemas e Pesquisa Operacional). Participação no LabCon/UFPB iniciada em 2017, através da supervisão do doutorado sanduíche (PDSE), na Universidade do Minho, da discente Andreia C. de Oliveira.

Eliana de Fátima da Costa Lima. Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2011). Mestrado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPB (2014). Discente no curso de doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPB (desde 2018). Docente no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB (desde 2015). Participação no LabCon/UFPB iniciada em 2009 como bolsista PIBIC (2009, 2010, 2011), bolsista CAPES na Pós-graduação/ mestrado (2012-2014).

Erivaldo Lopes de Souza. Graduação em Engenharia de Produção Mecânica na UFPB (2010). Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Instituto de Educação Superior da Paraíba - IESP (2012). Mestrado em Engenharia de Produção pela UFPB (2012). Técnico no Laboratório de Métodos Quantitativos Aplicados - LabMEQA, DEP/CT/ UFPB. Colaborador no LabCon/UFPB desde 2012.

Lilianne de Queiroz Leal. Graduação em Tecnologia em Design de Interiores pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB (2005) e em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB (2008). Especialização em Iluminação e Design de Interiores pelo Instituto de Pós-Graduação - IPOG (2011). Mestrado

no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFPB (2013). Discente no curso de doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPB (desde 2019). Docente no curso de Engenharia Civil na Universidade Federal de Campina Grande - Campus Pombal (desde 2014). Participação no LabCon/UFPB iniciada em 2011 como bolsista CAPES na Pós-graduação/mestrado (2011-2013).

Luana Maria de Medeiros Quirino. Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2018). Participação no LabCon/UFPB iniciada em 2015 como bolsista PIBIC (2015 a 2018) e bolsista PIVIC (2017).

Lúcia Helena Aires Martins. Graduação em Tecnologia em Design de Interiores pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB (2007) e em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB (2010). Mestrado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPB (2013). Docente no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS (desde 2017). Participação no LabCon/UFPB iniciada em 2011 como bolsista CAPES na Pós-graduação/mestrado (2011-2013)

Luiz Bueno da Silva. Graduação em Matemática pela UFPB (1990). Mestrado em Engenharia de Produção na UFPB (1996). Doutorado em Engenharia de Produção na UFSC (2001). Pós-doutorado no PPGEF/UFPE (2009) e no PPGEB/UNB (2018). Docente no curso de graduação e pós-graduação em Engenharia de Produção e no programa de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPB. Docente colaborador no Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica da UNB. Consultor externo do programa de doutorado em Segurança do Trabalho e Saúde Ocupacional da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. Pesquisador do Laboratório de Análise do Trabalho do Departamento de Engenharia de Produção da UFPB. Editor do CESET Journal. Membro da International Society for Environment Ergonomics. Colaborador no LabCon/UFPB desde 2012.

Mayara Cynthia Brasileiro de Sousa. Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG (2016). Mestrado no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFPB (2018). Discente no curso de doutorado do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFPB (desde 2018). Participação no LabCon/UFPB iniciada em 2016, como bolsista CAPES na Pós-graduação/mestrado (2016-2018) e doutorado (desde 2018).

Milena de Sá Braga. Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2012).

Natália Luna da Silva. Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2016).

Solange Maria Leder. Graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (1991). Mestrado em Engenharia de Produção (1999) e Doutorado em Engenharia Civil (2007) na UFSC. Pós-doutorado no National Research Council Canada (2013-2014). Docente no curso de Arquitetura e Urbanismo e nos Programas de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo e em Engenharia Civil e Ambiental. Precursora e Coordenadora do Laboratório de Conforto Ambiental do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPB desde 2009.

Solange Virginia Galarca Goulart. Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (1987). Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina (1993). Doutorado em Environment and Energy - Architectural Association School of Architecture – AAA (2005). Docente no curso de graduação e pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Colaboradora no LabCon/UFPB desde 2010.

Yasmin Vaz Cavalcanti Pereira. Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2019). Participação no LabCon/UFPB iniciada em 2015 como bolsista PIBIC (2015, 2016).



Este livro foi realizado com o apoio da
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Capes

EU

Este livro foi diagramado pela Editora da UFPB em 2019.
Impresso em papel Offset 75 g/m²
e capa em papel Supremo 250 g/m².

No ano em que completa 10 anos de existência, o Laboratório de Conforto Ambiental, Centro de Tecnologia e Departamento de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal da Paraíba traz nessa coletânea algumas reflexões e investigações sobre o conforto, a qualidade ambiental e o desempenho da edificação. Os artigos selecionados em artigos produzidos por professores e alunos que aprofundaram os estudos, juntos ao LabCon, nas especificidades do clima tropical. Sob coordenação da professora Solange Leder, o LabCon abriga atividades de ensino, pesquisa e extensão nas temáticas ligadas à arquitetura e ao conforto ambiental, sobretudo conforto térmico e lumínico, agregando professores e alunos: da graduação no âmbito do Curso de Arquitetura e Urbanismo; e do mestrado e doutorado no âmbito dos programas de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU e em Engenharia Civil e Ambiental – PPGECA. Desejamos que o conjunto de capítulos que compõem esta publicação venha a contribuir para o aprimoramento da arquitetura nos trópicos.

ISBN: 978-85-237-1442-0



9 788523 714420