

RECOMENDAÇÕES BIOCLIMÁTICAS PARA HABITAÇÕES EM NATAL/RN ATRAVÉS DE SIMULAÇÕES TERMOENERGÉTICAS

Giovani Pacheco (1); Aldomar Pedrini (2)

(1) Arquiteto, Mestrando do PPGAU/UFRN, giovani.arquitetura@yahoo.com.br

(2) PhD, Professor do Departamento de Arquitetura-UFRN, apedrini@ufrnet.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Arquitetura, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética - Lagoa Nova, Natal/RN, CEP 59072-970, Tel.: +55 84 3215-3722

RESUMO

As recomendações bioclimáticas são importantes recursos para os projetistas adequarem seus projetos ao contexto climático do lugar. A NBR 15220 traz essas recomendações para habitações de interesse social submetidas aos climas encontrados em todo o país, visando promover a adequação ambiental das edificações. As recomendações foram obtidas através de uma adaptação da carta bioclimática de Givoni, e suas limitações. Este estudo revisita o tema com uma abordagem mais atual para propor recomendações para habitações de interesse social em Natal/RN, por meio de simulações térmicas e procedimentos mais adequados. Foram selecionados diferentes tipos de habitações onde foram testadas quatro estratégias: ventilação natural, sombreamento das aberturas, Fator de Calor Solar das vedações e massa térmica nas paredes externas. Os resultados foram avaliados através do método de conforto adaptativo e indicam que, dependendo da combinação das estratégias, é possível obter edificações com melhores condições de conforto que o clima externo, mas também pode-se obter edificações com desconforto ao calor na maior parte do tempo. As recomendações que resultam em bons desempenhos independem do tipo de habitação, como ventilação natural e baixo FCS. Outras recomendações dependem do tipo da residência. Por fim, conclui-se que as simulações ofereceram as indicações para que diferentes tipos de habitações na cidade de Natal/RN consigam alcançar elevados níveis de conforto ou, pelo menos, compensar a escolha de soluções que possam prejudicar seus desempenhos.

Palavras-chave: recomendações bioclimáticas, conforto térmico, simulação de desempenho.

ABSTRACT

Bioclimatic recommendations are important resources for architecture climate design. The NBR 15220 introduces these recommendations for low incoming housing, concerning the national territory, aiming the interior building thermal comfort. The current standard is based on Givoni's bioclimatic chart and its limitations. This study recalls this theme with a different approach, in order to obtain recommendations for social housing in Natal/RN, using thermal energy simulations and more suitable procedures. Different types of dwellings and four strategies were assessed: natural ventilation, openings shading, Solar Heat Factor of roof and walls, and thermal mass on the outside walls. The results were evaluated using the adaptive thermal comfort. The results confirm that is possible to obtain buildings with improved comfort conditions in relation to the external environment, but also can obtain high occurrence of discomfort, most of time. The best recommendations are not significantly influenced by the type of housing, such as natural ventilation and low solar heat. Other recommendations depend on the type of dwelling. Finally, it is demonstrated that simulations provided indications to reach high levels of thermal comfort occurrence or, at least, to offer alternatives to compensate bad design decisions.

Keywords: bioclimatic recommendations, thermal comfort, building performance simulation.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia das edificações tem origem em três causas: a arquitetura (envoltória e arranjo interno dos edifícios); os sistemas de condicionamento e iluminação; e os ocupantes. Pedrini e Hyde (2001) verificaram que uma edificação pode atingir desempenho energético máximo – de acordo com os critérios dos autores – apenas possuindo uma envoltória eficiente.

Em habitações populares, as causas arquitetônicas têm maior peso no consumo de energia que em grandes edifícios. Everetts (1950) verificou que cerca de 90% do consumo para resfriamento nas habitações era devido às condições climáticas externas, contra 60% para os edifícios comerciais. Como a relação entre a área da envoltória e o volume interno é maior nas habitações, as trocas térmicas realizadas pela envoltória aquecem ou resfriam o volume interno mais rapidamente. Nas habitações de interesse social a influência da envoltória no desempenho térmico é ainda mais nítida.

Além disso, programas habitacionais para população de baixa renda são implementados em todo o país independente da condição climática da região. As soluções arquitetônicas adotadas, incluindo forma e sistemas construtivos, são os principais responsáveis pelo desconforto ao calor no interior da habitação, comprometendo a qualidade de vida de seus usuários e levando à aquisição de sistemas de climatização artificial e consequente aumento do consumo de energia elétrica (PEDRINI, MASCARENHAS *et al.*, 2009).

A NBR 15220 (ABNT, 2005) foi um grande avanço ao propor recomendações projetuais de habitações unifamiliares de interesse social e classificá-las de acordo com o zoneamento bioclimático do território brasileiro. O método se baseou na determinação de zonas de conforto térmico e de estratégias bioclimáticas desenvolvidas por Givoni (1992) e adaptadas por Roriz *et al.*, (1999). Por exemplo, a cidade de Natal-RN está localizada na zona bioclimática 8, e recomenda-se uso de ventilação cruzada permanente, aberturas com grandes áreas para possibilitar essa ventilação, e sombreadas para evitar o calor. As paredes e coberturas devem ser leves e refletoras.

O presente trabalho aborda a questão por meio de simulação térmica horária com o programa DesignBuilder (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2000-2005), arquivo climático de 2009 (RORIZ ENGENHARIA BIOCLIMÁTICA, 2015) e método de classificação de conforto térmico por meio do método adaptativo desenvolvido por Dear e Brager (2002), adaptado por Negreiros (2010) e por Lamberts *et al.* (2013). São simulados três tipos de habitações com estratégias representativas para o melhoramento do desempenho térmico.

2. OBJETIVO

Obter recomendações bioclimáticas para habitações de interesse social em Natal/RN, com base em simulação computacional de desempenho térmico.

3. MÉTODO

O método consiste em avaliar o impacto das recomendações bioclimáticas em habitações de Natal/RN, por meio da simulação computacional no programa DesignBuilder (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2000-2005). O procedimento consistiu na simulação de combinações de estratégias bioclimáticas em três tipos de habitação unifamiliar, resultando em 48 modelos.

3.1 Definição dos Modelos

3.1.1 Tipologia e Geometria da Edificação

Foram selecionadas três habitações unifamiliares de aproximadamente 60m² de área construída, com mesmos ambientes (dois quartos, sala de estar, sala de jantar, cozinha e banheiro) e pé-direito de 3m (Figura 1). O tipo alongado representa habitações que costumam ser geminadas nas duas laterais e que apresentam poucas aberturas. Foi modelado com planta de 5m x 12m, paredes laterais adiabáticas, área de abertura de 6m² – 10% da área do piso – e orientação da fachada principal para sul.

O tipo compacto representa moradias geminadas em uma lateral. O modelo apresenta planta de 7m x 8,57m, parede oeste adiabática, área de abertura equivalente a 20% da área do piso e orientação da fachada principal para sul. O tipo ramificado foi modelado com todas as fachadas livres e área de abertura equivalente a 40% da área do piso.

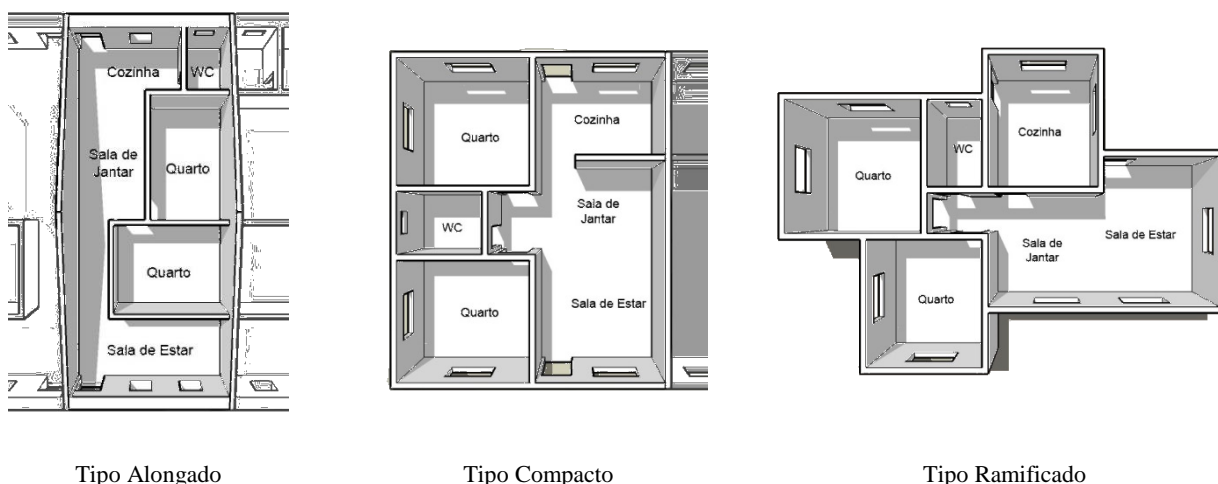


Figura 1: Tipos selecionados para a confecção dos modelos.

3.1.2 Padrões de Ocupação e Utilização

Em todos os modelos foram adotadas as recomendações do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INMETRO, 2010) para definição da ocupação, das rotinas de iluminação e ocupação, taxa metabólica dos ocupantes, densidade de potência de iluminação (DPI) e cargas de equipamentos. Foram considerados quatro ocupantes nas habitações, dois por quarto.

3.1.3 Definição da Temperatura do Solo

As temperaturas mensais do solo foram obtidas no programa Slab do EnergyPlus. O programa calcula a temperatura média do solo para cada mês do ano, com base nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação para o clima escolhido, levando em conta sua geometria, elementos construtivos e padrões de uso e ocupação.

3.1.4 Arquivo Climático

As simulações empregaram o arquivo climático Natal.epw de 2009.

3.2 Estratégias Simuladas

As estratégias bioclimáticas foram selecionadas a partir das recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2005) correspondentes à Natal. A estratégia de condicionamento térmico indicada é a ventilação natural, que é uma das estratégias avaliadas na pesquisa. Também é recomendado o sombreamento das aberturas e vedações leves e refletoras. Por esse motivo foram avaliadas também o Fator de Calor Solar e a massa térmica das vedações, além do sombreamento das aberturas. Para cada estratégia foram consideradas duas situações, conforme mostrado no Quadro 1.

Ventilação
● V1 – Ventilado
○ V2 – Não Ventilado
Sombreamento das Aberturas
● S1 – Sombreado
○ S2 – Não Sombreado
Massa Térmica
● M1 – Pesada
○ M2 – Leve
Fator de Calor Solar (FCS)
● F1 – FCS Alto
○ F2 – FCS Baixo

Quadro 1: Estratégias bioclimáticas selecionadas para as simulações.

3.2.1 Fechamentos

A massa térmica leve foi representada por paredes de tijolo sem revestimento, com espessura de 9cm e capacidade térmica de 45 kJ/(m².K). A parede pesada possui duas camadas de tijolo e reboco em argamassa, resultando em uma parede com espessura de 39cm e capacidade térmica de 255 kJ/(m².K). Além da diferenciação da massa térmica, as paredes também foram diferenciadas pelo FCS, alterando as cores do revestimento externo (Tabela 1).

Na cobertura foi adotado telha de barro, câmara de ar de 10cm e forro de madeira, com $U=2,00$ $W/(m^2.K)$. A diferença no FCS das coberturas deveu-se a cor das telhas (absortância solar), resultando em uma cobertura com FCS de 6,4% e outra com 14,6% (Tabela 1).

Tabela 1: Propriedades térmicas das paredes e coberturas dos modelos

	Elemento da envoltória	CT kJ/(m ² .K)	U W/(m ² .K)	α	FCS
Parede	Parede 1: Leve e baixo FCS	45,00	2,44	0,20	2,00
	Parede 2: Leve e alto FCS			0,61	6,00
	Parede 3: Pesada e baixo FCS	255,00	1,52	0,33	2,00
	Parede 4: Pesada e alto FCS			0,98	6,00
Cobertura	Cobertura 1: alto FCS	28,00	2,00	0,80	14,6
	Cobertura 2: baixo FCS			0,20	6,4

3.2.2 Ventilação Natural

Para a ventilação natural foi considerada uma situação com entrada controlada dos ventos e outra sem ventilação. No caso da ventilação natural controlada, as portas e janelas são totalmente abertas sempre que a temperatura do ar externo é menor que o ar interno. A falta de ventilação ocorre quando algumas situações projetuais não possibilitam a ventilação.

As taxas de infiltração por frestas adotadas seguem o modelo de infiltração do DesignBuilder (2005) denominado “muito pobre”, onde apresenta, para janelas externas, um coeficiente de fluxo de ar por frestas de 0,0004 (kg/s.m) e expoente de fluxo de ar de 0,70.

3.2.3 Sombreamento das aberturas

No sombreamento das aberturas foi adotado um único elemento de sombreamento para todas as fachadas, para simplificação dos modelos (Figura 2). Essas proteções foram removidas nas situações sem sombreamento.

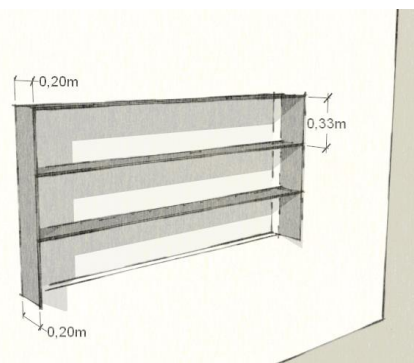


Figura 2: Proteções solares das aberturas.

3.3 Tratamento e Análise dos Dados de Saída

Os dados obtidos nas simulações de cada modelo foram analisados com base no critério de ocorrências de conforto e desconforto térmicos horários ao longo do ano, pelo método adaptativo (LAMBERTS, 2013), para identificar as recomendações mais adequadas de acordo com o tipo arquitetônico.

O critério de classificação é a ocorrência de horas em conforto com movimentação de ar e das horas em conforto sem a movimentação do ar proposto na Tabela 2. As faixas de classificação resultam da análise do comportamento de todos os resultados obtidos pelas simulações.

Tabela 2: Critérios de classificação de recomendação das estratégias

	Classificação das combinações de estratégias quanto à recomendação para projeto			
	Ótimas	Boas	Regulares	Ruins
Conforto térmico com ou sem movimento de ar (% de horas do ano)	≥ 80%	≥ 50%	≥ 30%	< 30%
Conforto térmico sem movimento de ar (% de horas do ano)	-	≥ 75%	≥ 50%	< 50%

Fonte: sugerido pelo autor.

4. RESULTADOS

A análise do clima com base no ano de referência para Natal/RN (

Figura 3) comprova que há ocorrência de conforto térmico na maior parte do tempo (86%) e que o movimento do ar é necessário apenas em 12% das horas, principalmente durante o meio do dia. Há apenas 1% de desconforto ao calor, entre 10:00 e 17:00 horas, e 1% de ocorrência de desconforto ao frio, nas

últimas horas da madrugada – antes do nascente.

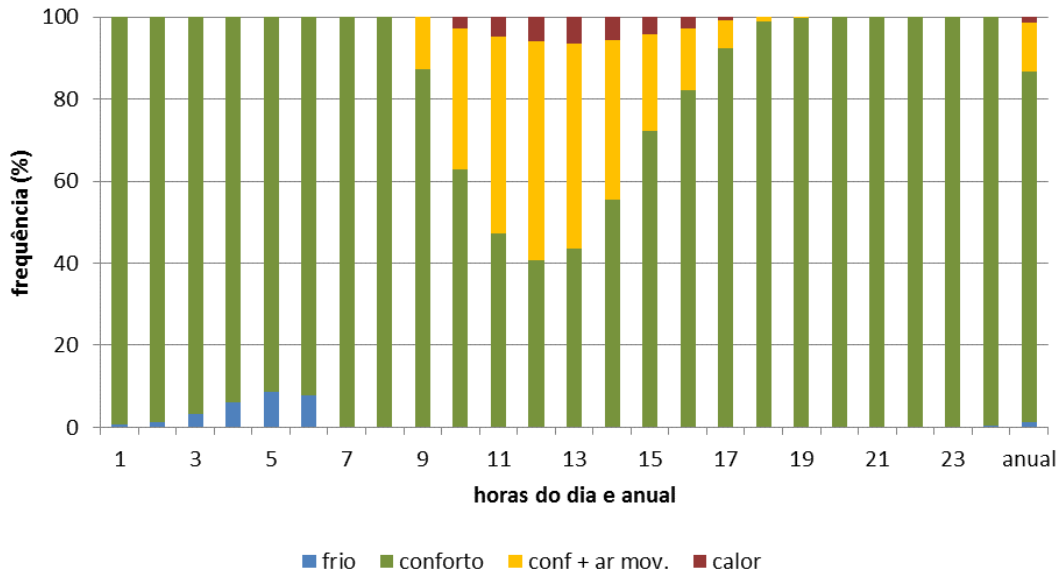


Figura 3: Clima externo de Natal/RN

Os resultados das simulações confirmam que é possível obter edificações: confortáveis termicamente em praticamente todas as horas do ano, inclusive com desempenho superior ao clima externo; confortáveis termicamente com necessidade de movimento do ar (ventilação natural ou mecânica, como ventilador de teto) em parte das horas do ano; desconfortáveis ao calor na maior parte do tempo, necessitando o uso de condicionador de ar (Figura 4 a Figura 6).

O tipo alongado (Figura 4) apresenta melhores desempenhos por meio de ventilação e baixo FCS nas vedações, podendo ter massa térmica leve ou pesada, com aberturas sombreadas ou expostas. Os piores casos são os não ventilados e com alto FCS. É possível obter desempenhos intermediários sem ventilação ou com alto FCS, porém depende das demais variáveis. Com as duas paredes laterais geminadas, as trocas térmicas pela cobertura são bem mais impactantes no desempenho, fazendo com que a variação do FCS da coberta de 6,4 para 14,6 nesta edificação resulte em variações no desempenho maiores que nos demais tipos.

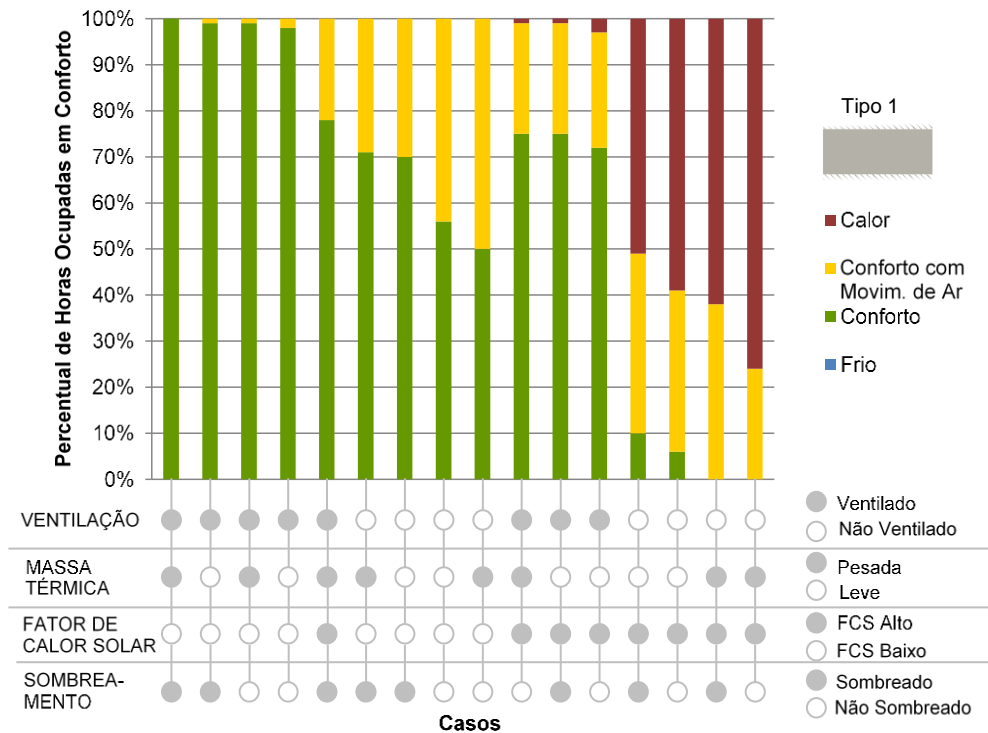


Figura 4: Desempenho das habitações alongadas

O tipo compacto (Figura 5) e o tipo ramificado (Figura 6) necessitam o movimento de ar para proporcionar conforto integralmente. Na maioria das combinações ocorre desconforto ao calor. O baixo FCS é imprescindível para evitar o desconforto ao calor. Os casos sem ventilação natural só não apresentam desconforto ao calor se possuírem sombreamento nas aberturas e vedações com FCS baixo. Os casos que aliam FCS alto nas vedações e ausência de ventilação apresentam mais de 30% das horas ocupadas em desconforto ao calor.

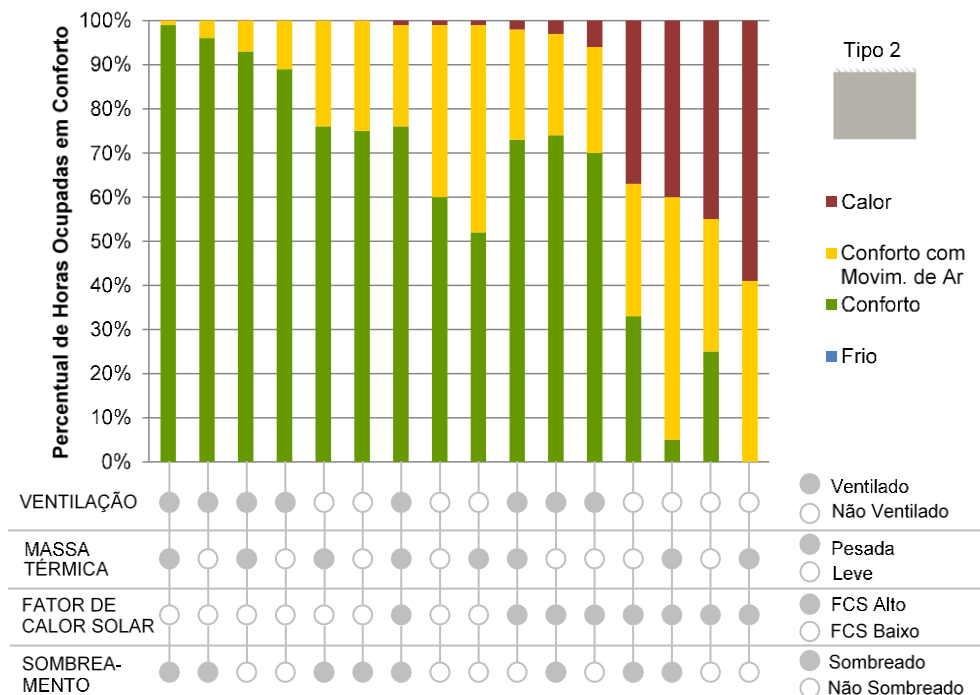


Figura 5: Desempenho das habitações compactas

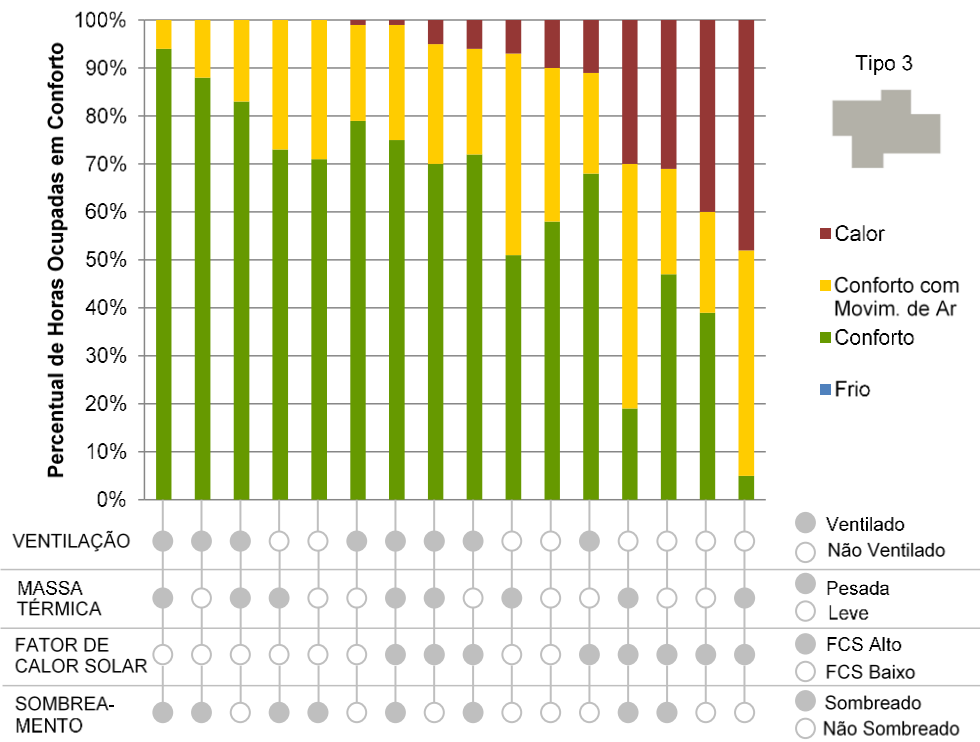


Figura 6: Desempenho das habitações ramificadas

A comparação dos desempenhos dos três tipos (Figura 7) demonstra que o tipo de edificação é mais influente nos casos com piores desempenhos, que apresentam maiores ocorrências de desconforto ao calor. O tipo alongado apresenta comportamento extremo: quando o desempenho é bom, ele se sobressai como o melhor; quando o desempenho é ruim, ele se sobressai como o pior. Isso porque, com menor área de troca térmica, esse tipo ganha menos calor que os demais quando o desempenho é bom, mas também perde pouco calor quando o desempenho é ruim.

O ramificado é o que mais precisa do movimento de ar para atingir conforto térmico nos melhores casos. Também é o que apresenta mais casos com desconforto ao calor, devido a maior área de envoltória e aberturas envidraçadas. Em contrapartida, as ocorrências desconforto ao calor não superam 50% das horas, onde essas ocorrências são menores do que os demais casos, para as piores combinações. Verificou-se que a maior área de abertura também resulta em maiores infiltrações de ar pelas frestas, o que contribui para remover as cargas térmicas internas.

O tipo compacto apresenta um comportamento intermediário entre o alongado e o ramificado, na maioria dos casos. As exceções são os casos intermediários, onde esse tipo apresenta melhor desempenho.

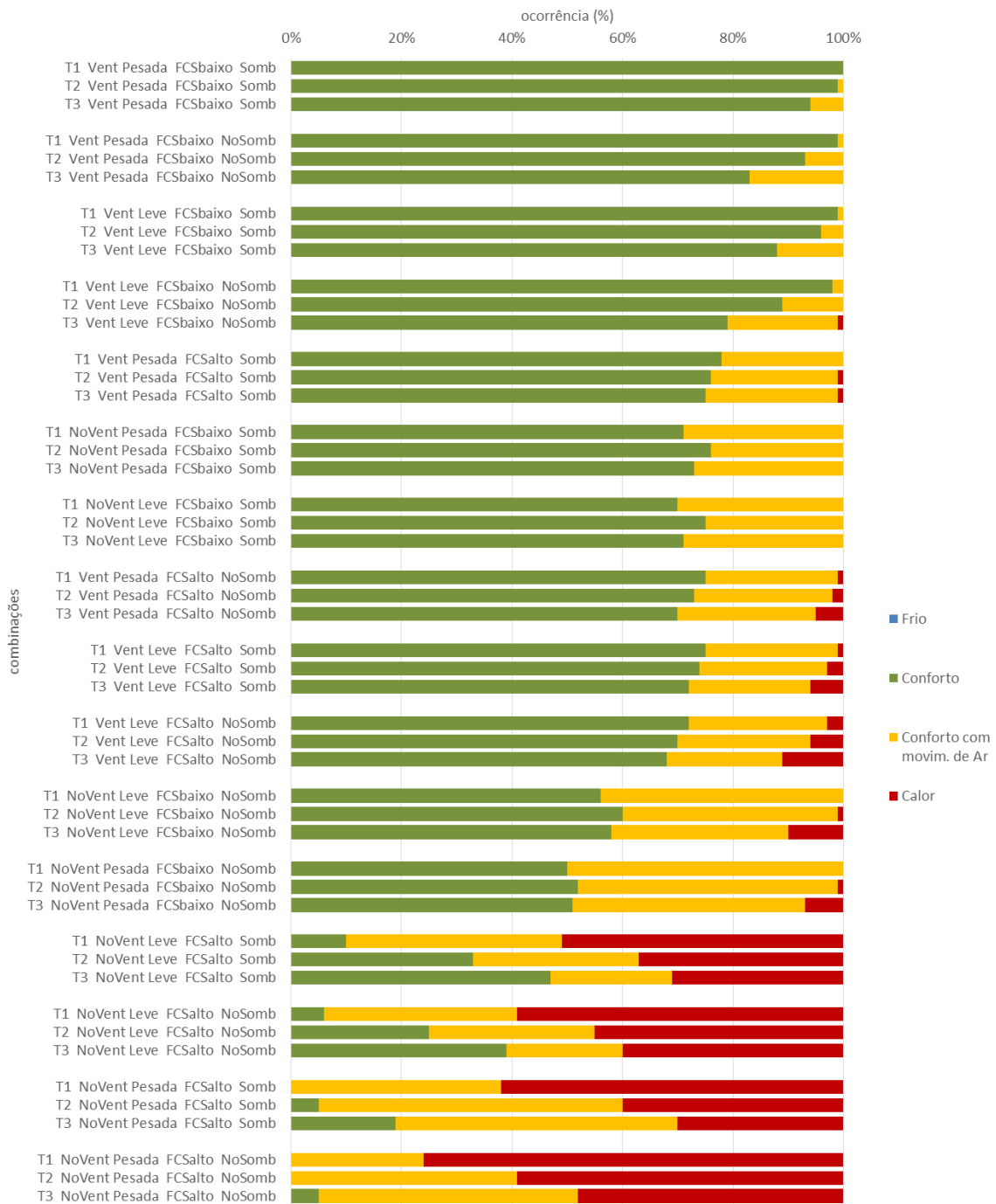


Figura 7: Comparação dos desempenhos por tipos de habitação

A aplicação dos critérios de classificação do desempenho (Quadro 2) indicam que:

- classificação ótima é obtido com ventilação natural combinada com FCS baixo em todos os modelos simulados e em todos os tipos de habitação;
- classificação boa requer pelo menos ventilação natural ou FCS baixo;
- classificação ruim ocorre quando o FCS é alto e não há ventilação.

Quadro 2: Qualificação das estratégias bioclimáticas

T1				T2				T3			
Vent. Natural	Massa térmica	FCS	Sombra	Vent. Natural	Massa térmica	FCS	Sombra	Vent. Natural	Massa térmica	FCS	Sombra
●	●	○	○	●	●	○	○	●	●	○	○
●	○	○	○	●	●	○	○	●	○	○	○
●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

● Presença (ventilação ou sombreamento) ou alto (FCS e massa térmica)
 ○ Ausência (ventilação ou sombreamento) ou baixo (FCS e massa térmica)

Os tipos alongado e compacto compartilham as mesmas recomendações (Quadro 3): desempenho ótimo é obtido apenas com ventilação e baixo FCS – o tipo ramificado também quer sombreamento nas aberturas; desempenho bom é atingido apenas com ventilação ou redução do FCS. As recomendações quanto às características que devem ser evitadas são alto FCS para os tipos alongado e compacto, e alto FCS com massa térmica para o tipo ramificado.

Quadro 3: Relações entre as estratégias e o desempenho para cada tipo de habitações

Tipo	Combinações			
	Ótimas	Boas	Regulares	Ruins
T1	<ul style="list-style-type: none"> Ventilar e reduzir o FCS das vedações 	<ul style="list-style-type: none"> Ventilar ou Reduzir o FCS das vedações 	-	<ul style="list-style-type: none"> Aumentar o FCS das vedações
T2			<ul style="list-style-type: none"> Sombrear e reduzir a massa 	
T3	<ul style="list-style-type: none"> Ventilar, reduzir o FCS das vedações e sombrear 		<ul style="list-style-type: none"> Reduzir a massa e não ventilar 	<ul style="list-style-type: none"> Aumentar o FCS e a massa das vedações

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que as escolhas das estratégias bioclimáticas analisadas são decisivas no desempenho térmico dos três tipos de edificações escolhidas, podendo variar de confortáveis termicamente durante todas as horas do ano à desconfortáveis na maior parte do ano.

Os desempenhos das habitações dependem da ventilação natural para remover o calor interno e dependem do baixo FCS para evitar a absorção de radiação solar e a transferência desse calor para o interior. O efeito da massa térmica varia, demonstrando que a habitação não deve ser necessariamente leve, como recomenda a NBR 15.220, para ser confortável. A massa térmica apenas acentua o desempenho ruim de uma envoltória com alto FCS.

Edificações com envoltória mais adequada ao clima são menos influenciadas pelo tipo. O tipo influencia o desempenho à medida que a envoltória é menos adequada.

Nos modelos sem ventilação – com aberturas fechadas –, os melhores desempenhos foram obtidos pelos tipos com maior área de abertura, já que também possuem maiores frestas. O fluxo de ar pelas frestas auxilia na remoção das cargas térmicas. Com isso, o uso de venezianas é duplamente recomendado, pois funciona como protetores solares ao mesmo tempo que possibilita grande quantidade de frestas para a infiltração do ar.

A redução do FCS das vedações pode se dar através de três soluções: clareamento da superfície externa, como utilização de pinturas ou revestimentos claros; aumento da resistência térmica das vedações, como inserção de camadas de materiais isolantes ou aumento da espessura das camadas com materiais que conduzem pouco calor; ou do sombreamento das superfícies externas, como por meio de elementos arquitetônicos ou de paisagismo. O alto FCS deve ser sempre evitado e frequentemente ocorre acidentalmente, por meio do escurecimento das superfícies como cobertas, e redução da resistência térmica

das vedações devido à degradação das propriedades (ação de U.V., fungos, infiltração de água, dentre outros).

Por fim, o método empregado para determinar recomendações projetuais proporcionou: avanços em relação à forma de cálculo de desempenho (simulação anual horária); atualização dos critérios de desempenho (conforto adaptativo com e sem movimento de ar); emprego de alternativas projetuais atualizadas, regionais e abrangentes quanto ao rebatimento arquitetônico (o FCS pode representar uma ampla gama de combinações arquitetônicas); e reconhecimento do tipo da edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social - NBR 15220-3**. Rio de Janeiro: ABNT. NBR15220-3: 29/04/2005, 2005. p.30.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R). Brasília, 2012.
- DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. **Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55**. Energy and Buildings, v. 34, n. 6, p. 549-561, JUL 2002. Disponível em: <<Go to ISI>://000175492600004 >.
- DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. DesignBuilder 2000-2005.
- EVERETTS, J. J. **Analysis and influence of climatology upon air condition design**. Washington. 1950
- GIVONI, B. **Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines**. Energy and Buildings, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.
- LAMBERTS, R.; CANDIDO, C.; DEAR, R. D.; VECCHI, R. D. **Towards a Brazilian Standard on Thermal Comfort. The University of Sydney**. Sydney, p.123. 2013.
- NEGREIROS, B. D. A. **Análise de métodos de predição de desempenho térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo**. 2010. (mestrado). Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- PEDRINI, A.; HYDE, R. A. A database energy tool for early stages of building design: the LTV Method. **PLEA 2001 18th Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Florianópolis, November 2001.
- PEDRINI, A. et al. **Desempenho térmico de tipologias de habitações de interesse social para 6 cidades brasileiras**. Relatório interno do Laboratório de Conforto Ambiental-UFRN. Natal. 2009.
- RORIZ ENGENHARIA BIOCLIMÁTICA. Roriz Bioclimática. 2015. Disponível em: <http://www.roriz.eng.br/epw_9.html>. Acesso em: nov.
- RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares**. V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído/ II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 1999, Fortaleza.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e Eletrobrás pelo apoio financeiro e ao Laboratório de Conforto Ambiental – Labcon/UFRN pelo apoio logístico.