

NÍVEIS DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA DE UNIDADES HABITACIONAIS DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA EM ZONAS BIOCLIMÁTICAS DE 5 A 8

Thiago T. Rodrigues (1); Carla de Oliveira (2); Joyce Carlo (3)

(1) Estudante do Curso de Arquitetura e Urbanismo, thiago.t.rodrigues@ufv.br

(2) Estudante do Curso de Arquitetura e Urbanismo, carla.o.oliveira@ufv.br

(3) Dr., Arquiteta e Urbanista, joycecarlo@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa, Avenida P. H. Rolfs, s/n, Campus UFV, 36570-900, Tel.: (31) 3899-2744.

RESUMO

A demanda de habitação no Brasil em 2009 era de, aproximadamente, 5,6 milhões de unidades habitacionais. Para acelerar o processo de construção e reduzir custos, as empreiteiras do programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) geralmente utilizam um projeto padrão para ser executado em diferentes cidades brasileiras. O objetivo deste artigo é analisar os níveis de eficiência energética da envoltória para verão de um modelo base – com telha de fibrocimento e aberturas com percentual para ventilação de 45% - de edificação multifamiliar em seis cidades brasileiras. As cidades selecionadas encontram-se nas zonas bioclimáticas (ZBs) de 5 a 8, no intuito de avaliar as variações dos níveis de eficiência da etiqueta das unidades habitacionais (UHs) em relação aos materiais da envoltória, e também de acordo com as diferenças climáticas de cada ZB. Para isso foi utilizado o programa de simulação computacional Energy Plus 8.1.03. Todos modelos são compostos por um pavimento térreo, intermediário e último; e totalizam 63 zonas térmicas modeladas individualmente. Foi analisado o quanto o nível de eficiência poderia variar com a proposição de medidas de eficiência energética com diferentes materiais e absortâncias de cobertura – cerâmica vermelha e cerâmica clara – e com maiores áreas de ventilação das aberturas. Na maioria das cidades o caso base e os modelos otimizados obtiveram níveis de eficiência “D” e “C”. Observou-se que variação dos níveis de eficiência da etiqueta das UHs foram sensíveis às características bioclimáticas de cada ZB, à orientação solar e também à grande influência do último pavimento.

Palavras-chave: Habitação, ventilação natural, eficiência energética, simulação

ABSTRACT

The housing deficit in Brazil in 2009 was about 5,6 million housing units. The contractors of the Minha Casa Minha Vida program generally use a standard housing design to enhance the construction speed and to reduce cost applied to any Brazilian city. This paper aims to analyze the energy efficiency levels of the envelope for summer of a standard design – with an asbestos cement roof and ventilation openings of 45% of the fenestration area – of a high rise residential building in six Brazilian cities. The selected cities are located in Bioclimatic Zones (BZ) 5 to 8, in order to evaluate the energy efficiency levels variations of the housing units (HU) regarding to the components variations, and also according to the climatic differences in each BZ. The building performance simulation software Energy Plus 8.1.03 was used to achieve the results. All the building models are composed of a ground floor, an intermediate and a top floor, which sum 63 individual thermal zones. It was verified how the energy efficiency level could vary according to different roof materials and absorptances – red and light ceramic – and with larger areas for the ventilation openings. The base case and the enhanced models obtained efficiency levels “D” and “C” in most of the cities. It was observed that the energy efficiency variations of the UH labels were sensitive to the bioclimatic characteristics of the BZ, to the solar orientation and to the higher influence of the top floor.

Keywords: Housing; natural ventilation; energy efficiency; simulation

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados do Programa Nacional de Amostra por Domicílios (PNAD, 2009) o Brasil apresenta um déficit habitacional de quase 5,6 milhões de moradias. O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), através do programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) criado em 2009, disponibiliza elevados recursos financeiros visando reduzir esses números, mas não garante a qualidade da moradia. A má qualidade da construção acaba refletindo em, além de um desconforto no interior das edificações, um gasto extra de energia para que estas condições sejam alteradas artificialmente (ALMEIDA; CABÚS, 2005). O resultado é que, muitas vezes, a renda mensal das famílias que são atendidas pelo programa não possibilita gastos tão elevados para garantir este conforto artificial, refletindo-se na redução da qualidade de vida (OLIVEIRA; SILVA; PINTO, 2014).

Essa precariedade do conforto se deve, principalmente, ao fato de que, as construtoras elaboram projetos arquitetônicos padronizados para serem reproduzidos em diferentes cidades brasileiras, sem levar em conta as particularidades climáticas de cada região a fim de agilizar o processo de execução das unidades habitacionais.

O aumento do poder aquisitivo da população na década de 2000 (IBGE, 2013) elevou as exigências com o nível de conforto térmico dos usuários, mesmo em programas habitacionais. Tais exigências se refletiram na insatisfação com qualidade da edificação no PMCMV, como exemplificado por Almeida e Cabús (2005). Como resposta, o governo federal solicitou estudos para elevar a qualidade dos aspectos de sustentabilidade, do qual estão incluídos o conforto térmico e o nível de eficiência energética segundo o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica) residencial (BRASIL, 2012).

Além disso, a nova crise energética iniciada em 2014/2015 com uma breve redução das tarifas de energia do setor residencial e posterior aumento com base em nova lei tarifária (bandeiras vermelha, amarela e verde) foi um indicativo de possíveis cenários energéticos instáveis a partir de meados da segunda década do séc. XXI.

Dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2014) mostram que, enquanto o produto interno bruto (PIB) cresceu 2,3% em 2013, o consumo de energia elétrica aumentou em 3,6%, com destaque para os setores residencial e comercial. As edificações residenciais representam grande parcela desse consumo de energia, consumindo cerca de 24,2% da energia elétrica nacional, e o valor absoluto tende a crescer de forma considerável. Assim, da preocupação com o crescente gasto de energia no setor residencial, surgem diversos estudos na área habitacional, referentes ao desempenho térmico das edificações de acordo com: a adaptação ao clima local (FERREIRA; SOUZA; ASSIS, 2014); características do envelope que podem ser facilmente alteradas, como a absorvância solar (SCHAEFER et al., 2014); e a forte influência das esquadrias (BRASILEIRO; MORGADO; TORRES, 2014), entre outros.

Neste contexto, a regulamentação do consumo de energia de edifícios residenciais se mostra importante. Entretanto, o Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R), cujo objetivo é estipular diretrizes e condições que possam normatizar a etiquetagem de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares (BRASIL, 2012), ainda não teve penetração satisfatória desde o seu lançamento em 2010. Até o presente momento, o PBE Edifica etiquetou 2.367 unidades habitacionais até janeiro de 2015 (INMETRO, 2015), das quais apenas uma não foi etiquetada pelo método prescritivo.

O RTQ-R (BRASIL, 2012) disponibiliza dois métodos de avaliação: o método prescritivo e o método de simulação, cujos resultados variam de níveis de eficiência A, mais elevados, a E, de baixa eficiência. O método prescritivo consiste em uma série de parâmetros predefinidos ou a calcular que indicam a eficiência do sistema, já o método de simulação define parâmetros para modelagem e simulação, mas permite mais flexibilidade na concepção do edifício.

O Brasil está localizado entre as latitudes 5°16' norte e 33°44' sul e possui grande variabilidade de climas, devido a sua vasta extensão. Assim, fica clara a necessidade de se desenvolver diferentes modelos de moradias que levem em consideração as características regionais. Diversos fatores climáticos como radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e a velocidade dos ventos, que influenciam diretamente na transferência de calor, que ocorre entre o meio ambiente e o interior da habitação, através da envoltória, são deixados de lado ao se replicar o mesmo modelo de habitação para qualquer que seja a sua localização. Este é um fator chave que determina a qualidade ambiental e mantém as condições internas mais estáveis em relação às variações nas condições externas, podendo-se assim, reduzir o consumo de energia, como também o custo de operação com sistemas de condicionamento artificial.

A própria NBR 15575 (ABNT, 2013), responsável por garantir os requisitos de desempenho em habitações, apresenta limitações na avaliação da envoltória no atual procedimento de simulação relacionadas aos arquivos climáticos e estratégias passivas, não garantindo a avaliação segundo condições de uso real da

edificação em análise, desconsiderando alguns parâmetros importantes que influenciam no desempenho térmico, como: cargas térmicas internas, condições de contato com o solo, estratégias bioclimáticas (aquecimento solar passivo, resfriamento evaporativo, ventilação natural, entre outras), além de não avaliar a influência da variação anual da temperatura no desempenho térmico da edificação (SORGATO et al., 2014).

Dentro dessa temática, surgiram os estudos para o PMCMV, chamado PMCMV Sustentável como projeto do Ministério das Cidades em parceria com diversos agentes. Dentre eles, o Procel Edifica/Eletróbrás participa com direcionamento das atividades técnicas realizadas pela Rede de Eficiência Energética, que engloba diferentes universidades brasileiras e busca desenvolver um protótipo de habitação de interesse social que contemple estratégias bioclimáticas visando, principalmente, a sustentabilidade e o conforto ambiental. Os autores deste artigo fazem parte dessa atividade e desenvolveram estudos de desempenho e etiquetagem paralelos ao foco principal do programa com verificação das atuais condições em diferentes cidades de clima quente.

2. OBJETIVO

Este artigo busca avaliar o desempenho térmico para verão da envoltória de Unidades Habitacionais de uma edificação residencial multifamiliar de um modelo base comumente utilizado pelo PMCMV de acordo com a classificação do RTQ-R para seis cidades de quatro diferentes Zonas Bioclimáticas brasileiras.

3. MÉTODO

Foram realizadas simulações do modelo base com variações nas opções de materiais das coberturas e nos tipos de abertura, a fim de avaliar a contribuição do tipo de envelope no desempenho térmico da edificação.

O modelo base consiste em um edifício residencial de 5 pavimentos, tendo 4 apartamentos por andar, cada qual de dois dormitórios, em um total de 20 unidades por edifício, destinado ao PMCMV (Figura 1). Foram 63 zonas modeladas individualmente distribuídas entre os pavimentos térreo (primeiro andar), intermediário (terceiro andar) e último (quinto andar). Os segundo e quarto pavimentos não foram modelados, deixando apenas os espaços do pé direito (altura piso a piso) vagos. Os níveis de eficiência são calculados ao triplicar os equivalentes numéricos obtidos no terceiro pavimento, que é idêntico aos pavimentos não modelados.

Destaca-se que este não é o método de modelagem vigente no RTQ-R, mas testes iniciais indicaram pouca sensibilidade no desempenho para esta avaliação. Já o padrão de uso de cargas internas foi configurado conforme o RTQ-R (BRASIL, 2012).

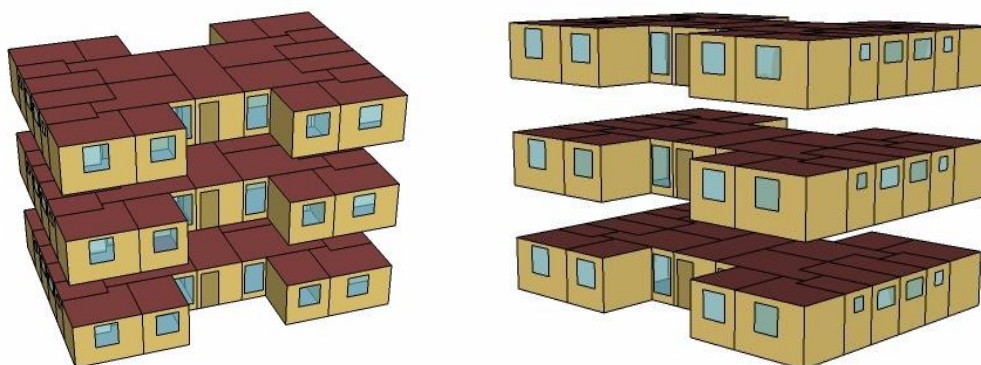


Figura 1 – Modelo 3D no EnergyPlus.

O modelo base foi simulado para seis cidades de quatro diferentes Zonas Bioclimáticas brasileiras, dentre elas: Maceió (AL), Belém (PA) e Vitória (ES), localizadas na ZB8; Cuiabá (MT), localizada na ZB7; Campo Grande (MS) na ZB6; e por último Niterói (RJ), que está localizada na ZB5. Todas têm apenas o desempenho para o verão etiquetado pelo PBE Edifica, escolha realizada para atender a demanda da Procel Edifica e do Ministério das Cidades para um estudo do programa MCMV Sustentável.

Foram escolhidos três diferentes tipos de cobertura: fibrocimento (absortância = 0,70), cerâmica vermelha (absortância= 0,60) e cerâmica clara (absortância = 0,49), os dois primeiros baseados em Dornelles e Sichieri (2014) e o último, medido em laboratório com um espectrofotômetro portátil. Em todos os casos foram considerados câmara de ar e laje de concreto abaixo do telhado, as características dos materiais utilizados para a simulação estão descritas na Tabela 1. Quanto às esquadrias, foram adotadas duas opções de

aberturas efetivas de ventilação: 90% (duas folhas de abrir) e 45% (duas folhas de correr) ambas sem veneziana.

No total foram obtidos 30 modelos simulados, pois a cobertura com telha cerâmica clara não estava presente nas primeiras simulações, sendo adotada como modelo após perceber que não houve uma variação significativa apenas mudando a telha de fibrocimento para a telha cerâmica vermelha. Assim, a cerâmica clara foi incluída na simulação combinada apenas com as aberturas efetivas para ventilação de 90%, com o objetivo de conseguir um modelo otimizado.

Tabela 1– Características dos materiais utilizados na simulação computacional (ABNT, 2005).

MATERIAL	Propriedades físicas dos materiais utilizados			
	Condutividade (W/m-k)	Densidade (kg/m ³)	Calor específico (J/kg-K)	Absortância
Piso Cerâmico**	0,90	1.600,00	920,00	0,39
Porta**	0,15	600,00	2.300,00	0,70
Argamassa**	1,15	2.000,00	1.000,00	0,40
Concreto**	1,75	2.400,00	1.000,00	0,70
Fibrocimento	0,90	2.000,00	840,00	0,70
Cerâmica Vermelha	0,90	2.000,00	840,00	0,60
Cerâmica Clara	0,90	2.000,00	840,00	0,49

** Materiais utilizados em todos modelos

Uma preocupação considerada relevante para este estudo foi que, ao estipular um mesmo modelo para ser reproduzido em diferentes localidades, este ainda deve adequar-se às suas respectivas normas construtivas locais. Assim, a NBR 15575 (ABNT, 2013), indica que os ambientes de permanência prolongada devem ter aberturas para ventilação com áreas que atendam à legislação específica do local da obra, incluindo Códigos de Obras, Códigos Sanitários e outros, e somente quando não houver exigências de ordem legal, é que se deve adotar os valores estabelecidos pela própria norma. Das cidades estudadas, apenas Maceió, Vitória e Campo Grande estabelecem especificações em seus códigos de obra, sendo que o de Maceió estabelece apenas que sejam seguidas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), referentes aos níveis de ventilação, iluminação e acústica. Assim, para as outras cidades (Belém, Cuiabá e Niterói), que não apresentam especificações em seus códigos de obra, foi adotada a NBR 15575. Além disso, também foram verificadas as especificações mínimas do Ministério das Cidades para o PMCMV (BRASIL, 2013).

Para a simulação, foi utilizado o programa EnergyPlus, versão 8.1.03 para obtenção das temperaturas operativas e posterior cálculo dos graus-hora (GH) de resfriamento com temperatura base de 26°C. Os arquivos climáticos utilizados neste estudo possuem o formato Test Meteorological Year (TRY), obtidos no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), conforme especificações do RTQ-R (BRASIL, 2012). Destaca-se que os arquivos climáticos representam o clima da cidade e não o microclima da área de projeto, o que poderia gerar diferenças nos resultados.

A orientação geográfica e o padrão de nomes utilizado para cada apartamento é mostrado Figura 2. As fachadas principais do edifício estão voltadas para Oeste e Leste, a fim de se avaliar o pior caso, considerando também ser a orientação de um protótipo real (de projeto distinto) simulado para o PMCMV Sustentável. A parede opaca de um dormitório e as aberturas de banheiros e cozinhas são voltadas para Norte ou Sul.

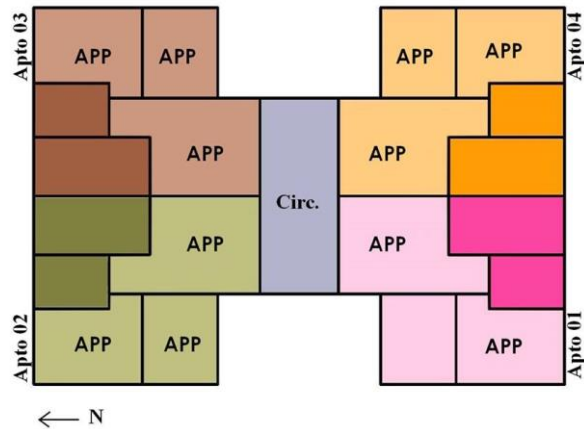


Figura 2 – Pavimento tipo.

A modificação dos materiais foi acompanhada de uma avaliação de custos. Foi elaborada uma tabela orçamentária, baseada em dados retirados da edição de dezembro da revista Construção Mercado, da editora Pini (CONSTRUÇÃO MERCADO, 2014). Dentre os estados do país dos quais a revista fornece os custos de materiais e serviços, estão Rio de Janeiro e Pará, onde se localizam as cidades de Niterói e Belém, respectivamente, assim os dados desses estados, foram considerados regionais para suas zonas.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta as especificações sobre ventilação e iluminação que devem ser atendidas de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), Código de edificações e urbanismo (MACEIÓ, 2014), Código de edificações (VITÓRIA, 1998), Código de obras (CAMPO GRANDE, 1979) e especificações mínimas do Ministério das Cidades para o PMCMV (BRASIL, 2013).

Considerando a pior condição - janelas de correr com duas folhas, (45% da área de abertura para ventilação e 80% para iluminação) - as esquadrias do modelo necessitariam de uma revisão caso o projeto fosse realmente construído, pois de acordo com os códigos de obras de Vitória e Campo Grande, tanto a área efetiva de iluminação natural da sala quanto a do banheiro não atendem às especificações mínimas dos referidos códigos.

Tabela 2– Especificações sobre ventilação e iluminação que devem ser atendidas.

Documento	Especificações	Atende à especificação
NBR 15575	Para zonas de 1 a 7 (Cuiabá e Niterói): Deve-se adotar a área mínima para ventilação de 7% da área do compartimento	SIM
	Para a zona 8 (Maceió-nordeste, Belém-norte): Deve-se adotar a área mínima para ventilação de 8% da área do compartimento para região Nordeste e Sudeste e área mínima para ventilação de 12% da área do compartimento para região Norte	SIM
Código de obras de Maceió	Iluminação e ventilação natural devem seguir o especificado na NBR 15575-4	SIM
Código de obras de Vitória	Ambientes de permanência prolongada e ambientes como cozinha, copa e sala de estar deve-se adotar a área de iluminação mínima 1/8 da área do compartimento, ambientes como banheiros e lavanderias adota-se como mínimo para iluminação natural 1/15 da área do compartimento, sendo no mínimo metade dessa área (para os dois casos) destinada à ventilação natural.	NÃO
Código de obras de Campo Grande	Ambientes de permanência prolongada deve-se adotar a área mínima de iluminação 1/7 da área do compartimento e ambientes de permanência transitória deve-se adotar a área mínima de iluminação 1/10 da área do compartimento, sendo no mínimo metade dessa área (para os dois casos) destinada à ventilação natural.	NÃO
Ministério das Cidades	Janelas com áreas mínimas de 1,50 m ² para quartos e 2,00 m ² para salas, aceitando variação de até 5%	SIM

OBS.: A NBR 15.575-1 referente ao desempenho lumínico não especifica áreas mínimas de abertura para iluminação natural.

Observou-se uma variação no orçamento para os diferentes tipos de telhado para as duas regiões, sendo que em ambas o preço para a construção com telhas de fibrocimento foi superior ao preço orçado para o telhado com telhas cerâmicas, gastando-se R\$2.676,00 a mais no caso do estado do Rio de Janeiro, e R\$1.522,00 a mais no caso do estado do Pará. Apesar da variação parecer pequena, ao se tratar de construções de baixa renda, onde se busca cada vez mais a redução dos custos, essa diferença pode vir a ser significativa (Tabela 3).

Tabela 3– Diferenças nos custos para os tipos de telhado escolhidos (CONSTRUÇÃO MERCADO, 2014).

Orçamento de telhado para o estado do Rio de Janeiro				Orçamento de telhado para o estado do Pará		
	Preço unitário (R\$/m ²)	Área de telhado (m ²)	Preço final (R\$)	Preço unitário (R\$/m ²)	Área de telhado (m ²)	Preço final (R\$)
Telhado com telha cerâmica	168,21	245,30	41.261,91	77,30	245,30	18.961,69
Telhado com telha de fibrocimento	179,12	245,30	43.938,13	83,53	245,30	20.489,91

As Tabelas 4 a 6, apresentam os níveis de eficiência obtidos para cada combinação simulada, para todos os climas avaliados com destaque para a comparação entre as aberturas. Os níveis de eficiência energética da envoltória da edificação multifamiliar foram variados: a maior parte foi nível D, com alguns níveis A e B. Como esperado, houve aumento dos Equivalentes Numéricos da Envoltória (EqNumEnv) dos modelos com telhados de menor absorvância.

No modelo com telha cerâmica, o uso de esquadrias de 90% de abertura de ventilação aumentou o equivalente numérico da envoltória em 6,45% em média, enquanto no modelo de fibrocimento, a média foi de 7,15%. Comparando o uso da cerâmica clara com a cerâmica vermelha, a melhora foi de 0,06% - para abertura 90% - e 6,53% - para abertura 45%. E quando comparada com os modelos de fibrocimento, a melhora foi de 7,45% - para abertura 45% - e 0,40% - para abertura 90%.

Ao comparar estas melhorias devido ao aumento das áreas para ventilação com as estratégias bioclimáticas indicadas pelo programa Analysis Bio, percebeu-se que o percentual de melhoria decresceu conforme os percentuais de ventilação se reduziram: para telhado de fibrocimento, Belém melhorou em 12% e tem 82,0 de percentual de ventilação como estratégia, Maceió melhorou em 6% e tem 75,7 de percentual de ventilação como estratégia e Vitória melhorou apenas 1,0% e tem 52% de percentual de ventilação como estratégia. Curiosamente, a latitude desses locais também se reduz, e acredita-se que a incidência da radiação solar também tenha impacto na sensibilidade do EqNumEnv e no desempenho por ventilação. Além disso, esse padrão não se repetiu nas cidades que apresentavam o aquecimento solar como estratégia, mas não foi possível estabelecer nenhuma relação direta entre as variáveis.

O método de simulação do RTQ-R indica escalas individuais de graus-hora para alguns arquivos climáticos. Das seis cidades simuladas, apenas Niterói não possuía intervalos de graus-hora especificamente indicados a seu arquivo climático. Nesse caso, o RTQ-R indica que devem ser usados os intervalos que constam no método prescritivo.

O uso desses intervalos para obter o nível de eficiência energética das alternativas simuladas em Niterói resultou em nível "A" para a grande maioria das envoltórias das UHs, e nível "A" para a edificação multifamiliar em todos os casos, independente da área de ventilação da abertura ou do material da cobertura (Tabelas 4 a 6). Ou seja, houve pouca sensibilidade do desempenho da edificação e de suas UHs em Niterói se comparado ao desempenho nas demais Zonas Bioclimáticas.

Tabela 4– Etiquetas finais da envoltória para o telhado com telhas de fibrocimento, caso base da simulação.

PARA TELHADO FIBROCIMENTO- Fib* (abs=0,7)					
Zona	Cidade	Abertura 45%	EqNum	Abertura 90%	EqNum
ZB8	Maceió (AL)	D	1,80	D	2,10
ZB8	Belém (PA)	D	1,85	D	2,45
ZB8	Vitória (ES)	D	1,80	D	1,85
ZB7	Cuiabá (MT)	C	3,29	B	3,79
ZB6	Campo Grande (MS)	D	1,83	D	2,40
ZB5	Niterói (RJ)	A	4,83	A	4,96

* Paredes com absorvância de 0,4

Tabela 5– Etiquetas finais da envoltória para o telhado com telha cerâmica vermelha.

PARA TELHADO CERÂMICO - Cer* (abs=0,6)					
Zona	Cidade	Abertura 45%	EqNum	Abertura 90%	EqNum
ZB8	Maceió (AL)	D	1,85	D	2,10
ZB8	Belém (PA)	D	1,99	D	2,45
ZB8	Vitória (ES)	D	1,80	D	1,92
ZB7	Cuiabá (MT)	C	3,33	B	3,82
ZB6	Campo Grande (MS)	D	1,87	D	2,40
ZB5	Niterói (RJ)	A	4,87	A	4,96

* Paredes com absorvância de 0,4

Tabela 6– Etiquetas finais da envoltória para o telhado com telha cerâmica clara.

PARA TELHADO CERÂMICO CLARO - CerCla* (abs=0,493)			
Zona	Cidade	Abertura 90%	EqNum
ZB8	Maceió (AL)	D	2,12
ZB8	Belém (PA)	C	2,52
ZB8	Vitória (ES)	D	1,92
ZB7	Cuiabá (MT)	B	3,94
ZB6	Campo Grande (MS)	D	2,40
ZB5	Niterói (RJ)	A	4,78

* Paredes com absorvância de 0,4

As Figuras 3 e 4 visam apresentar a variabilidade dos níveis de eficiência das UHs devido à orientação solar. Considerando que as UHs com área de permanência prolongada (APP) a oeste têm pior desempenho e, a norte, o melhor, todos modelos simulados nas diferentes cidades foram avaliados isolando os efeitos do contato com solo ou da radiação sobre a cobertura. Como esperado, as unidades dos pavimentos intermediários – tanto no modelo base, como no modelo otimizado – mostraram-se mais sensíveis à orientação solar, apresentando maior variação na etiqueta das envoltórias. Entretanto, enquanto o modelo base apresentou nível “E” em mais de 65% das UHs dos pavimentos intermediários, para o modelo otimizado essa porcentagem não chegou a 30%. Já os apartamentos do térreo, tanto do modelo base quanto do modelo otimizado, apresentaram nível de eficiência “A”, devido a inércia térmica do solo; enquanto nos últimos pavimentos, ambos modelos apresentaram mais de 65% das unidades com envoltória nível “E”, devido à incidência de radiação solar direta sobre a cobertura. Em relação ao último pavimento, é possível notar como o modelo base apresentou cerca de 10% a mais de unidades classificadas como nível “E” em relação ao modelo otimizado, este último apresentou UHs de níveis “A”, “C” e “E”, enquanto o primeiro apresentou maior variação, níveis “A”, “B”, “C”, “D” e “E”.

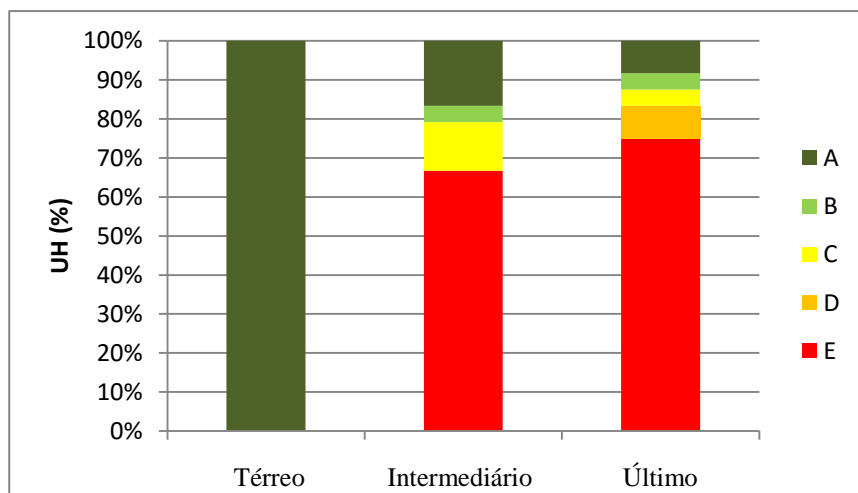


Figura 3 - Nível de eficiência das UH por pavimento de todas as Zonas Bioclimáticas (modelo base).

*Pavimento intermediário possui 3 vezes mais apartamentos que os demais.

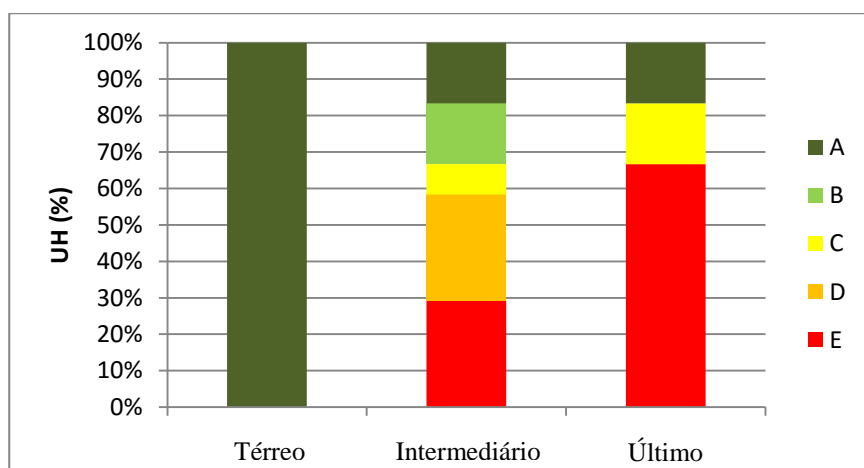


Figura 4 - Nível de eficiência das UH por pavimento de todas as Zonas Bioclimáticas (modelo otimizado).

*Pavimento intermediário possui 3 vezes mais apartamentos que os demais.

5. CONCLUSÕES

De um modo geral, as mudanças ocorridas com a variação da cobertura não foram tão relevantes quando comparadas com as mudanças ocorridas ao modificar o percentual de ventilação das aberturas. Contudo, em algumas cidades como Belém (ZB8), Vitória (ZB8) e Cuiabá (ZB7), a simples mudança de telha de fibrocimento para cerâmica clara melhorou consideravelmente a envoltória dos modelos.

A investigação da aplicação do método prescritivo para obter o nível de eficiência para cidade de Niterói (ZB5) indicou uma pequena variação dos níveis de eficiência das UHs, ou seja, a sensibilidade do desempenho das UHs foi maior em outros climas do que na ZB5.

As maiores variações dos níveis de eficiência da envoltória, por agrupamento analisado, ocorreram nos pavimentos intermediários. Vale lembrar que estes pavimentos não têm influência do solo como o térreo, mas a influência do último pavimento foi significativa no desempenho das UHs dos pavimentos imediatamente inferiores. Tal influência, mais a orientação solar, foram os elementos que diferenciaram o desempenho das UHs dos pavimentos intermediários.

Este trabalho indicou algumas tendências nos desempenhos por análise dos equivalentes numéricos e dos níveis de eficiência do PBE Edifica residencial para subsidiar os trabalhos do PMCMV Sustentável. Os trabalhos diretamente realizados para o programa MCMV Sustentável concentraram-se na simulação de cidades distintas às analisadas, mas as presentes simulações permitiram compreender as tendências gerais de desempenho de uma tipologia básica do programa a fim de identificar as particularidades das demais simulações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. E. Castro de; CABÚS, R. C. Conforto Térmico em Apartamentos de um Conjunto Habitacional em Maceió / AL. VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. ENCAC. **Anais do evento**. Maceió, AL, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **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.

BEN. Balanço Energético Nacional Ano Base 2014. **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese2014.aspx>>. Acessado em janeiro de 2015.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade – RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012.

_____. Ministério das Cidades. **Portaria nº 363, de 12 de agosto de 2013**. Programa Minha Casa Minha Vida – Especificações Mínimas. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNH/ArquivosPDF/Especificacoes/Especificacoes_minimas_-_Casa_Portaria_n_363.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

BRASILEIRO, A.; MORGADO, C. O.; TORRES, T. C. Influência das esquadrias na classificação do nível de eficiência energética de habitações no RJ. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC. **Anais do evento**. Maceió, AL, 2014.

CAMPO GRANDE. **Prefeitura Municipal de Campo Grande**. LEI N.º 1.866, de 26 de dezembro de 1979. Código de obras. Campo Grande, MS, 26 de dez. 1979. Disponível em: <<http://www.capital.ms.gov.br/egov/semadur/downloads/CODIGODEOBRAS.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

CONSTRUÇÃO MERCADO. Composição de Custos: custos de serviços de edificações. **Construção Mercado**, São Paulo, n. 161, dez. 2014. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/cviewer/edicao.asp?ed=161>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

DORNELLES, K.; SICHIERI, E. Efeitos do Intemperismo Natural Sobre a Refletância de Tintas Brancas para Coberturas. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC. **Anais do evento**. Maceió, AL, 2014.

FERREIRA, C.; SOUZA, H. A. de; ASSIS, E. S. de. Estudo do clima brasileiro: reflexões e recomendações sobre a adequação climática de habitações. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC. **Anais do evento**. Maceió, AL, 2014.

IBGE. Síntese de Indicadores sociais 2013: Uma análise das condições de vida da população brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000015471711102013171529343967.pdf>>. Acesso em: 17 de abr. 2015.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE / **Eficiência Energética**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/residenciais.asp>>. Acesso em: 17 abr. 2015.

MACEIÓ. **Prefeitura Municipal de Maceió**. LEI N.º 5.354, de 16 de janeiro de 2004. Código de edificações e urbanismo. Maceió, AL, 16 de jan. 2004. Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br/wpcontent/uploads/plusagencia/documento/2014/06/Download-Lei-N.%C2%BA-5.354-de-2004.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

OLIVEIRA, L.; SILVA, A. C. S. B.; PINTO, M. M. Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitação de interesse social, da zona bioclimática 2. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC. **Anais do evento**. Maceió, AL, 2014.

PNAD. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2009. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em janeiro de 2015.

SCHAEFER, A.; SILVA, A. S.; ALMEIDA, L. S. S.; BALVEDI, B.; GHISI, E. Influência da absorvância solar no desempenho térmico de habitações populares. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC. **Anais do evento**. Maceió, AL, 2014.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 Para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre. V. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez. 2014.

VITÓRIA. **Prefeitura Municipal de Vitória**. LEI N.º 4.821, de 30 de dezembro de 1998. Código de edificações. Vitória, ES, 30 de dez. 1998. Disponível em: <<http://sistemas.vitoria.es.gov.br/webleis/consulta.cfm?id=3164>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a ELETROBRAS pelo apoio financeiro e incentivo à pesquisa em eficiência energética em edificações, e à Fapemig pelo apoio para apresentação e publicação do trabalho.