AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL COM SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE BASE CIMENTÍCIA NA REGIÃO AMAZÔNICA

Eduarda Gonçalves (1); Alice Melo (2); Bruno R. Zemero (3); Márcio S. Barata (4)
(1) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, eduarda.goncalves@itec.ufpa.br
(2) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, alicemarimelo@gmail.com
(3) Doutor em Engenharia Elétrica, Arquiteto e Urbanista, brunorz@ufpa.br, Universidade Federal do Pará, Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Belém-PA, Rua Augusto Corrêa, 01– Guamá, 66075-110, Tel.: (91) 3201-7301
(4) Doutor em Ciências, Engenheiro civil, marciobarata@ufpa.br, Universidade Federal do Pará, Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Belém-PA, Rua Augusto Corrêa, 01– Guamá, 66075-110, Tel.: (91) 3201-7301

RESUMO
Este artigo teve como objetivo comparar o desempenho térmico do concreto celular e concreto normal moldados *in loco* para ventilação natural e ar condicionado através do *softwar*e EnergyPlus e *plugin* Euclide em duas habitações de interesse social (HIS) de configurações projetuais diferentes, situadas em duas cidades do estado do Pará, na zona bioclimática 8. Foram realizadas através da configuração do modelo computacional com o *plugin* Euclide e o com o modelo calibrado, simulações computacionais para medição do desempenho térmico das duas habitações. As variáveis graus-hora de resfriamento (Ghr) e consumo em kWh/m².ano foram utilizados como critérios de comparação entre as duas habitações de acordo com os parâmetros do Regulamento técnico da Qualidade para Edificações Residenciais (RTQ-R). Os resultados evidenciaram o melhor desempenho térmico do concreto normal em comparação ao concreto celular, contrariando as recomendações da NBR15220 para valores de transmitância, porém concordando com pesquisas mais recentes voltadas para o clima equatorial quente e úmido da zona bioclimática 8.

Palavras-chave: Desempenho térmico, Habitações de interesse social, EnergyPlus.

ABSTRACT
This paper consists on to compare the thermal performance of cellular concrete and normal concrete molded in loco for natural ventilation and air conditioning in two social housing units of different design configurations, located in two cities in the state of Pará, in the bioclimatic zone 8. Computer simulations were carried out by configuring the computational model with the Euclide plugin and the calibrated model to measure the thermal performance of the two dwellings. The degrees degrees-hour of cooling (Ghr) and consumption in kWh / m².year were used as criteria for comparison between the two dwellings according to the parameters of the Technical Regulation of Quality for Residential Buildings (RTQ-R). The results showed the better thermal performance of normal concrete compared to cellular concrete, contradicting the recommendations of NBR15220 for transmittance values, however agreeing with more recent research focused on the hot and humid equatorial climate of the bioclimatic zone 8.

Keywords: Thermal performance, Social interest housing, EnergyPlus.

1. INTRODUÇÃO

Em 2015 o Brasil participou da Conferência das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas e traçou metas para a redução do aquecimento global, dentre elas a redução de 10% do consumo de energia elétrica até 2030. Sabe-se que 51% do consumo de energia elétrica no Brasil se deve às edificações (EPE, 2018). Logo, para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável é imprescindível repensar as edificações levando em conta o impacto que ela pode causar no meio ambiente em todo o seu ciclo de vida.

Em vista disso, é necessário que os projetos de edificações estejam adequados à zona bioclimática local para que se garanta o seu melhor desempenho. Entretanto, ainda há no Brasil incontáveis inadequações projetuais, que, visando o caminho do menor custo, produzem habitações ineficientes energeticamente e, em longo prazo, onerosas devido à necessidade de estratégias ativas de conforto térmico.

Ademais, a urgência de construir grandes conjuntos habitacionais para mitigar o déficit habitacional brasileiro, estimado em 6,35 milhões de domicílios (Fundação João Pinheiro, 2015), levou ao incentivo de alternativas construtivas que promovessem diminuição de custos e prazos por meio da racionalização (BARROS, 1998). Consequentemente, visando maior rapidez na construção e economia de recursos, foram adotados sistemas construtivos padronizados em todo o país que não levou em conta as especificidades bioclimáticas de cada região do Brasil, de dimensões continentais e climas diversos. Isso gerou a reprodução de arquiteturas que não atendiam um nível adequado de conforto, fracas esteticamente e de qualidade deficiente (ROMERO e ORNSTEIN, 2003).

Com o intuito de reverter esse quadro de baixo desempenho das edificações brasileiras, o Governo Federal criou dois programas voltados para a implementação da inovação associada à avaliação de desempenho no ambiente da Construção Civil e da eficiência energética em edificações. O primeiro se refere ao Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores (SiNAT), que estabelece diretrizes de avaliação técnica e norteia os ensaios para avaliação do desempenho de sistemas construtivos inovadores implementados no Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). É uma condição compulsória para o financiamento de construções com sistemas inovadores. O segundo, é o Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), responsável pela concessão de selos de eficiência energética, que inicialmente foi implementado para aparelhos eletrodomésticos, e posteriormente, também para edificações, qualificando-as em níveis mais eficientes, isto é, aquelas que conseguem garantir um melhor conforto com o menor gasto de energia (LAMBERTS et al, 1997). Ainda dentro do ambiente da avaliação de desempenho e inovação, em 2013 entrou em vigor a norma de desempenho de habitações, a ABNT NBR 15575 (ABNT, 2008), que somou-se aos dois programas para o estabelecimento de parâmetros objetivos que pudessem quantificar o desempenho das Habitações de Interesse Social (HIS).

Dentre os sistemas construtivos racionalizados em aplicação na região amazônica estão os de base cimentícia, sejam os concretos moldados in loco normal e celular. No caso do concreto celular, a difusão do seu emprego é importante tanto em termos ambientais quanto econômicos, uma vez que proporciona o rendimento de até 30% no consumo de cimento em relação ao concreto normal em aplicações habitacionais de interesse social. Portanto, a avaliação comparativa do desempenho térmico desses sistemas construtivos de base cimentícia é relevante no cenário atual para as habitações de interesse social na região amazônica.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo foi comparar o desempenho térmico do concreto celular e normal, ambos moldados *in loco*, através de simulações realizadas com o programa EnergyPlus para ventilação natural e ar condicionado em duas habitações de interesse social de configurações projetuais diferentes situadas em duas cidades do estado do Pará, na zona bioclimática 8.

3. MÉTODO

A metodologia de análise adotada neste trabalho consistiu na caracterização e levantamento das edificações (métricas, materiais e sistemas construtivos), construção (desenvolvimento) do modelo computacional e realização da simulação. Partiu-se dos dados obtidos na etapa de calibração dos modelos computacionais.

3.1. Caracterização das edificações.

3.1.1 – Residencial Sion

O residencial Sion está localizado em Belém do Pará, latitude de 01º46'S, longitude de 48°50'W e altitude de 24 m, inserido na zona bioclimática 8. O edifício é um empreendimento da Incorporadora SÍNTESE MORADIA, subsidiado pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Possui 104 unidades

habitacionais divididas em 4 torres, com 4 pavimentos por torre e 2 unidades por andar (Figura 1). A planta da unidade padrão analisada possui 41,56m² e o acesso se dá somente por escadas (Figura 2).



Figura 1 – Residencial Sion em Belém.

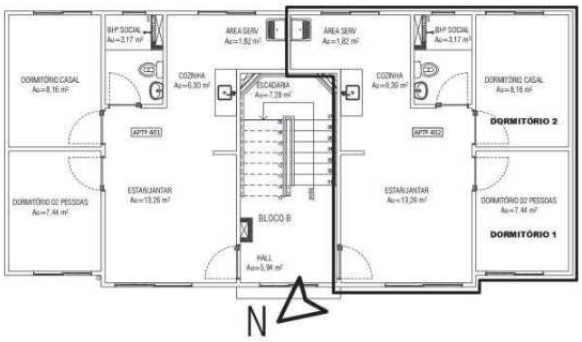

Figura 2 – Planta baixa do apartamento tipo.

O sistema construtivo é composto por paredes e lajes maciças estruturais, com espessura de 10cm de concreto normal (massa específica comum de 2.300 kg/m³), moldadas *in loco* por meio de painéis estruturados de alumínio. As paredes externas possuem acabamento em textura acrílica semibrilho na cor cinza claro na maior parte das paredes e no térreo, cinza escuro com detalhe vermelho no encontro entre os blocos em cada torre (Figura 1), para essas cores, a absorção solar é de 0,40. A cobertura é constituída por laje de concreto armado de 10cm de espessura, sem qualquer tipo de material termoisolante, além de telha de fibrocimento de 6mm suportada por estrutura metálica com tratamento anticorrosivo.

As janelas possuem de 1,50 m² de vão livre, com acabamento em alumínio anodizado fosco e vidro comum incolor de 3mm de espessura, com abertura em folha de correr de sobrepor, que limita o vão de abertura a uma área de 0,77 m² (50%). As paredes internamente são revestidas em gesso, com acabamento em tinta PVA na cor branco gelo na sala, quartos, banheiro social e cozinha. A cozinha e área de serviço possuem cerâmica esmaltada de 40 x 40 cm rejuntada e aplicada até a altura de 1,50 m, além de tinta acrílica até o teto na cor branco gelo. O piso cerâmico é do tipo PEI V, 40 x 40 cm, rejuntado, com rodapé de 7cm de altura. Para o estudo foram analisados os ambientes de permanência prolongada, no caso os dormitórios 1 e 2.

3.1.2 – Residencial José Rodrigues de Sousa

O residencial José Rodrigues de Sousa (Figura 3) está localizado na cidade de Capanema no Estado do Pará, com latitude -1,18 Sul, longitude -47,15 Oeste e altitude de 43 metros. A HIS está inserida na zona bioclimática 8, de acordo com a NBR 15220 (ABNT 2015). O empreendimento foi concebido pela mesma empresa do Residencial Sion, construído em concreto celular moldado *in loco*, composto por 1032 unidades habitacionais em tipologias multifamiliar de dois pavimentos, no qual cada bloco contém oito apartamentos, sendo quatro por andar. O acesso se dá por uma escada exterior (Figura 4) e os apartamentos encontram-se habitados desde 2015. Todas as unidades habitacionais contêm uma sala de estar, uma cozinha integrada com área de serviço, um banheiro e dois quartos, totalizando 39,13 m² de área. A Figura 4 mostra o *layout* de quatro apartamentos tipo do andar térreo, a unidade e os ambientes de permanência prolongada analisados, no caso os dormitórios 1 e 2.



Figura 3 – Residencial José Rodrigues de Sousa em Capanema.



Figura 4– Layout de um pavimento no bloco residencial.

O sistema construtivo trata-se de paredes em concreto celular e lajes em concreto normal, moldadas *in loco* a partir de painéis estruturados de alumínio. As paredes externas foram pintadas com tinta acrílica

texturada semi brilho da cor marfim, com absortância solar de 0,20. A cobertura é composta por laje de forro em concreto normal, sem qualquer tipo de tratamento termoisolante, além de telhas cerâmicas do tipo plan, dispostas em estrutura de *steel frame*, com um ático maior que o do Residencial Sion, em fibrocimento. O piso de todos os cômodos é de revestimento cerâmico branco, as lajes receberam contrapiso de argamassa. Nas paredes da cozinha, área de serviço e banheiro há revestimento cerâmico branco até a altura de 1,60 m, e acima pintura PVA branca. Nos demais cômodos se tem apenas a pintura PVA branca. As janelas são esquadria de alumínio anodizado fosco e vidros transparentes de 3mm de espessura; as folhas são do tipo sobreposta e área livre de vão é de 50%.

3.2. Desenvolvimento do modelo computacional.

A simulação computacional foi realizada por meio do software EnergyPlus, versão 9.3, disponibilizado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. O objetivo foi analisar os ambientes e situações em que a edificação apresenta condições mais críticas em relação ao desempenho térmico das envoltórias. A partir do *software* SketchUp associado ao *plugin* Euclide versão 9.3 (extensão gratuita disponibilizada pelo Big Ladder Software) foram realizadas as modelagens da geometria das edificações, considerando todos os ambientes como zonas térmicas e incluindo todos os apartamentos de cada bloco estudado como mostram as Figuras 5 e 6. A exportação dos modelos em formato "*idf*" foi possível em razão da compatibilidade com o EnergyPlus, onde foram inseridas diversas informações descritivas sobre a edificação e seu entorno, como materiais utilizados, dimensionamento, orientação solar, entre outros.

Além disso, foram inseridos arquivos climáticos de referência TRY com dados horários necessários para a realização do balanço térmico da edificação como as temperaturas referentes ao longo de 365 dias da Zona Bioclimática 8, disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina. A cidade de Capanema não possui arquivo climático TRY, em vista disso, foi considerado arquivo climático da cidade de Bragança-PA, que fica aproximadamente a 50 km da cidade de Capanema. A Tabela 1 apresenta as características dos materiais e a resistência térmica da câmara de ar que foram adotadas na simulação computacional, de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

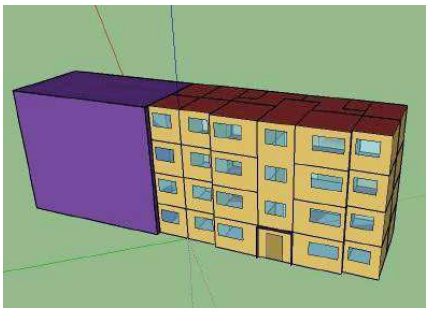

Figura 5 – Residencial Sion no programa Sketchup.

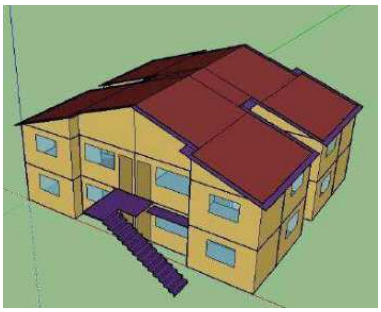

Figura 6 – Residencial José Rodrigues no programa Sketchup.

Material	Rugosidade	Espessura (m)	Condutividade (W/m – K)	Densidade (Kg/m³)	Calor Específico (KJ/Kg-K)	Resistência Térmica (m².K/W)	Absortância solar -
Concreto celular	Rugoso	0,1	0,56	1520	0,963	0,36	0,80
Concreto normal	Rugoso	0,1	1,75	2300	1,00	0,23	0,80
Arg. gesso	Lisa	0,02	0,7	1200	0,84	-	0,80
Rev. cerâmico	Lisa	0,07	0,9	1600	0,92	-	0,20
Forro gesso	Lisa	0,02	0,35	750	0,84	-	0,20
Madeira porta	Média rugosidade	0,03	0,15	608	1,4	-	0,75
Telha cerâmica	Média rugosidade	0,013	1,05	2000	0,92	-	0,75
Arg. revestimento	Média rugosidade	0,025	1,15	1800	0,1	-	0,8
Câmara de Ar Cobertura	-	-	-	-	-	0,21	-

Tabela 1 – Propriedades térmicas dos materiais.

A diferença principal entre o concreto celular e o normal moldados *in loco* está na incorporação do ar na massa através de um aditivo incorporador de vazios adicionado no momento da mistura dos materiais no caminhão betoneira. O concreto celular tem maior porcentagem de ar incorporado, poros não conectados, que diminuíram a densidade de 2.300 para 1.650kg/m^3. A presença dos vazios no concreto aumenta a sua resistência térmica, causando a diminuição da sua transmitância. O concreto normal é mais pesado e denso, com menor resistência térmica e maior transmitância em comparação ao concreto celular.

3.3. Procedimentos de simulação.

O uso e ocupação do apartamento em estudo em ambos os condomínios, assim como os parâmetros para ventilação natural e condicionamento artificial foram configurados conforme recomenda o Regulamento Técnico da Qualidade Para Edificações Residenciais (RTQ-R), descritos na Tabela 2. Foi considerada uma família de 4 pessoas, sendo um casal e dois filhos. Foram consideradas também as cargas térmicas obtidas a partir do uso de iluminação artificial nos ambientes em questão. Não foram consideradas as cargas oriundas dos aparelhos eletrodomésticos, conforme sugere Lamberts (2012).

O regime de ventilação a ser adotado teve como objetivo o resfriamento pela parte da noite, retirando o calor interno do ambiente como indica Gomes (2007), a partir de estudos estatísticos que informam que a temperatura interna é maior que a externa durante a noite. Os valores para taxas metabólicas foram baseados no *Handbook of fundamentals da ASHRAE* (1993) considerando uma área de pele de 1,80m² (Tabela 3). Vale ressaltar que no caso das coberturas, no Residencial José Rodrigues de Sousa, a cobertura foi representada por zona térmica, com uma camada de ar com resistência térmica pré-estabelecida (Tabela 1), ao passo que no Residencial Sion, em razão da geometria e dos resultados preliminares de calibração, a cobertura foi representada por camadas e não por zona térmica.

Foi solicitada a saída de dados no Energy Plus de temperatura operativa para o cálculo de graus hora de resfriamento (GHr) na situação de ventilação natural e transferência de energia por zona para o cálculo de consumo de energia em kWh por resfriamento na situação de condicionamento artificial.

PARÂMETROS	PADRÃO DE USO E OCUPAÇÃO
Pessoas	4 pessoas
Iluminação	Potência instalada (W/m²): Dormitórios 5,0; Sala 6,0
Equipamentos Elétricos	0%
Abertura de Janelas	Abertas das 18:00 às 12:00 hrs
Abertura de Portas	Porta internas abertas 100% e Porta externas fechadas 100%

Tabela 2 – Padrão de uso e ocupação de acordo com o RTQ-R.

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido (W/m²)	Calor produzido para área de pele (W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

Tabela 3 – Taxas metabólicas de acordo com a ASHRAE.

As configurações da ventilação natural e condicionamento artificial seguiram os parâmetros de acordo com o RTQ-R.

Para a avaliação do desempenho térmico foram utilizadas duas variáveis de resposta: Graus- hora de resfriamento (GHr) e o consumo relativo para refrigeração (C_R) em kwh/m^2.ano. O GHr é o total acumulado de horas no ano em que o ambiente se encontra em desconforto térmico na situação de ventilação natural, conforme a equação 1

$$GHR=\Sigma(To-26°C) \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
GHR é Graus-Hora de Resfriamento
To é a Temperatura Operativa
Sendo que a temperatura operativa pode ser calculada conforme a equação 2.

$$To = A.\ Ta + (1\text{-}A).\ Tr \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:
To é a Temperatura operativa horária [°C]
Ta é a Temperatura do ar no ambiente [°C]
Tr é a temperatura radiante média [°C]
A é a Constante que varia com a velocidade do ar no ambiente [Var, em m/s].
conforme:
A= 0,5 para Var ≤ 0,2 m/s
A= 0,6 para 0,2 m/s < Var ≤ 0,6 m/s
A= 07 para 0,6 m/s < Var ≤ 1,0 m/s

O critério para a escolha do apartamento a ser estudado nos dois residenciais seguiu as recomendações do RTQ-R. Foi escolhida a condição mais desfavorável termicamente: apartamento em contato com a cobertura e dormitórios com uma das faces voltadas para o oeste e com as condições menos favoráveis para a ventilação natural.

Ao fim da simulação computacional, os valores de GH_R e C_R ao longo do ano foram comparados com os critérios estipulados na classificação de edificações quanto ao desempenho térmico, de acordo com os parâmetros do Programa do PROCEL como mostra a Tabela 4.

Cidade: Belém – PA		ZB 8			Tipo do arquivo: TRY					
Eficiência	EqNum	GH_R			C_R (kWh/m².ano)			C_A (kWh/m².ano)		
A	5		$GH_R \leq$	5828		$C_R \leq$	42,787	-	$C_A \leq$	-
B	4	5828	$< GH_R \leq$	10340	42,787	$< C_R \leq$	68,780	-	$< C_A \leq$	-
C	3	10340	$< GH_R \leq$	16107	68,780	$< C_R \leq$	95,513	-	$< C_A \leq$	-
D	2	16107	$< GH_R \leq$	20455	95,513	$< C_R \leq$	124,572	-	$< C_A \leq$	-
E	1	20455	$< GH_R$		124,572	$< C_R$		-	$< C_A$	

Tabela 4 – Níveis de eficiência estipulados pelo PROCEL EDIFICA para Belém.

4. RESULTADOS

4.1 José Rodrigues de Sousa
4.1.1. Ventilação natural

A Figura 7 mostra os resultados dos indicadores de graus hora de resfriamento do quarto 1 do residencial José Rodrigues de Sousa para o concreto celular e concreto normal ao longo do ano e a Tabela 5 mostra os valores de GHr totais para os dois sistemas construtivos.

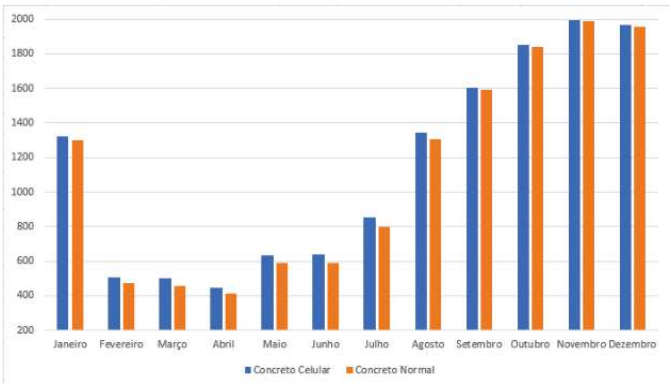

Figura 7 – Quantidade de GHR mensal para o Residencial José Rodrigues de Sousa.

Tipo de sistema construtivo	Quantidade de GHr anual	Classificação do PROCEL
Concreto Celular	13656.48	C
Concreto Normal	13309.40	C

Tabela 5 – Quantidade de GHR anual para o Residencial José Rodrigues de Sousa.

Os resultados de Graus-hora de resfriamento classificam o apartamento no nível de eficiência C do PROCEL, independentemente do tipo de concreto empregado. O concreto normal apresentou valor de GHr ligeiramente menor em comparação com o concreto celular, cerca de 2,6%. Isto se deve à diferença nos valores de transmitância destes concretos, no caso para o concreto celular, 2,80 w/(m².K), ao passo que para o concreto normal, 4,24 w/(m².K). A transmitância térmica é inversamente proporcional à resistência térmica. Portanto, quanto maior a resistência térmica (menor transmitância térmica) mais dificultoso será para o calor entrar no ambiente nos horários de pico de carga térmica; da mesma forma também, mais dificultoso será para o calor sair quando a temperatura externa estiver menor e isso resulta em mais horas de desconforto. Neste caso, o fato do concreto celular apresentar maior resistência térmica dificulta a dissipação do calor ganho durante o dia. O projeto do residencial José Rodrigues de Sousa não possui estratégias passivas como proteção das esquadrias (*brises* ou sombreamentos) para evitar o ganho de calor para a edificação durante o dia pelas janelas e pela cobertura, o que potencializa os piores resultados para o material de maior resistência térmica. Para climas equatoriais, quentes e úmidos, o desconforto é diretamente proporcional à resistência térmica do material de envoltória. Resultados semelhantes foram encontrados por Roriz et al (2009).

4.1.2. Condicionamento artificial

A Figura 8 mostra os resultados do consumo de energia total com o sistema HVAC em kWh para o residencial José Rodrigues de Sousa referentes aos dormitórios 1 e 2 e a Tabela 6 os valores em kwh/m².ano para ambos os sistemas cimentícios.

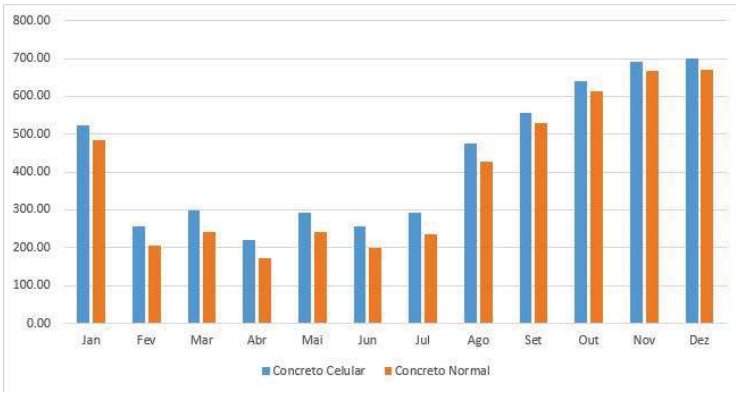

Figura 8 – Valores de kWh para os ambientes de permanência prolongada (dormitório 1 e 2)

O comportamento do condicionamento artificial foi semelhante ao da ventilação natural. O concreto celular teve o Cr de 586 kWh/m².ano enquanto o concreto normal apresentou um resultado de menor consumo, 529 kWh/m².ano, representando uma diferença positiva em prol do concreto normal de 10%.

Tipo de sistema construtivo	Cr (kwh/m2.ano)	Classificação do PROCEL
Concreto Celular	586	E
Concreto Normal	529	E

Tabela 6 – Consumo relativo para refrigeração (Cr) para o Residencial José Rodrigues de Sousa.

De acordo com dados de consumo em kWh/m².ano em ambas as situações, o nível de eficiência enquadra-se na classe E, a menos eficiente. É importante ressaltar que o valor elevado de consumo deve-se ao apartamento ser localizado adjacente à cobertura, ter paredes externas voltadas para oeste e norte e não dispor de sombreamento nas abertura. Esta última estratégia faz diferença significativa na zona bioclimática em estudo conforme resultados apresentados por Lobo (2018) e Morais Filho (2019). Fica notório na Figura 8 que os meses de maior consumo de energia são aqueles referentes ao período de estiagem na região amazônica, ou conhecido como verão amazônico, quando não há umidade suficiente para atenuar o calor sensível nem nebulosidade para bloquear os raios solares. Na Figura 7 constata-se que os meses com maiores horas de desconforto (GHr) correspondem aos períodos das maiores demandas de funcionamento do ar condicionado (kwh) (Figura 8). O concreto normal, por ter uma transmitância térmica maior, menor

resistência térmica, dissipa melhor o calor ganho durante o dia no período em que a temperatura externa está mais elevada que a interna, o que ocorre predominantemente à noite, conforme pode ser visto na Figura 8.

Em termos gerais, o emprego do concreto celular não proporcionou ganhos em termos de conforto e muito menos redução no consumo de energia elétrica em comparação ao concreto normal. Os resultados entre os dois tipos de concreto para a envoltória foram similares para ventilação natural. Entretanto, no caso da edificação ser condicionada artificialmente, o concreto celular não apresentou bom resultado, com consumo de energia elétrica 10% superior em relação ao concreto normal. O comportamento é atribuído a ganhos excessivos de calor pela cobertura e pelas esquadrias em razão de um projeto deficitário, associado à maior resistência térmica do material, que impede a dissipação de calor ganho durante o período da manhã e tarde, no qual a temperatura externa é superior à temperatura interna da edificação.

4.2 Sion

4.2.1 Ventilação natural

A Figura 9 mostra os resultados dos indicadores de graus-hora de resfriamento do residencial Sion para os concretos celular e normal mês a mês durante todo o ano e a Tabela 7 mostra os valores de GHr totais para os dois tipos de sistemas construtivos cimentícios. De modo geral o comportamento foi semelhante, os resultados de Graus-hora de resfriamento classificam o apartamento no nível de eficiência C do PROCEL, independentemente do tipo de concreto empregado. Em que pese os resultados de GHr terem sido semelhante entre as duas edificações, em tese a unidade avaliada no Residencial Sion, no quarto pavimento, deveria ter apresentado menores valores de GHr do que o Residencial José Rodrigues de Sousa, que se trata de um sobrado, com 2 pavimentos. Acredita-se que o efeito favorável da maior ventilação natural do Sion tenha sido anulado pela geometria desfavorável de sua cobertura, com uma menor inclinação de telhado e pelo emprego de telhas de fibrocimento, favorecendo o ganho de calor pela cobertura. Outro fator importante para o desempenho térmico de uma edificação é a absortância solar das superfícies externas, principalmente no contexto de clima quente e úmido da região amazônica. Os valores de absortância para as superfícies externas do Residencial Sion e José Rodrigues de Sousa são de 0,40 e 0,20 respectivamente. Logo, pode-se atribuir a influência das cores das envoltórias nos resultados apresentados.

O concreto normal apresentou novamente valor de GHr ligeiramente menor em comparação com o concreto celular, cerca de 2,6%. A origem deste comportamento se deve às diferenças nos valores de transmitância destes concretos, como já fora discutido no item 4.1.1.

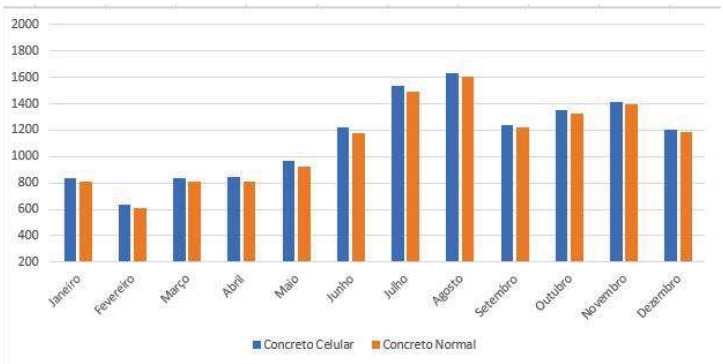

Figura 9 – Valores de GHR mês a mês no residencial Sion.

Tipo de sistema construtivo	Quantidade de GHr anual	Classificação do PROCEL
Concreto Celular	13696,22	C
Concreto Normal	13356,21	C

Tabela 7 – Quantidade de GHR anual para o Residencial Sion.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda paredes leves e refletoras para a zona bioclimática 8, com a adoção de transmitâncias menores ou inferiores a 3,7 w/(m².K) e 2,5 w/(m².K) para cores claras e escuras, respectivamente. No entanto, os resultados obtidos discordaram dessas diretrizes. O concreto celular apresentou desempenho térmico inferior ao do concreto normal, com transmitâncias de 2,80 e 4,4 w/(m².K) respectivamente, ou seja, o concreto com maior transmitância se mostrou mais eficiente do que o concreto com transmitância adequada de acordo com a norma citada.

Resultados semelhantes foram obtidos por Lobo (2018), no qual ressalta a importância de transmitância térmica elevada na dissipação do ganho de calor no período noturno, o que é muito importante para a zona bioclimática 8. O autor recomenda ainda que os ganhos de calor devem ser evitados principalmente com sobreamento das esquadrias e maior isolamento da cobertura.

4.2.2 Condicionamento artificial

A Figura 10 mostra os resultados do consumo de energia total com o sistema HVAC em kWh do residencial Sion para os dois dormitórios, ambientes de permanência prolongada.

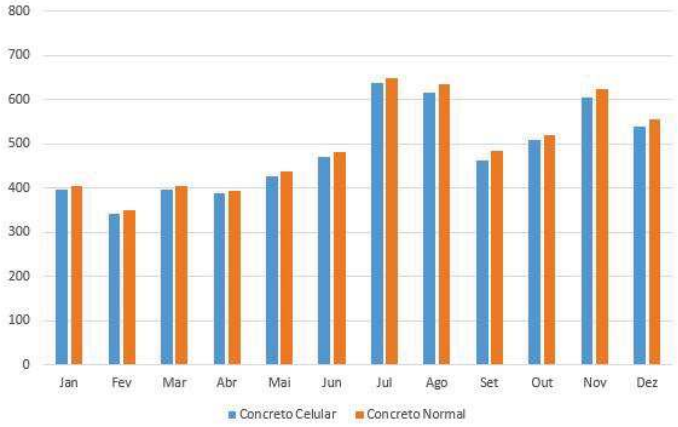

Figura 11 – Valores de kWh para os ambientes de permanência prolongada (dormitório 1 e 2)

A envoltória de concreto celular ocasionou um valor de 371 kWh/m².ano enquanto a de concreto normal um Cr de 380 kWh/m².ano. No caso do Sion, diferentemente do que ocorreu no José Rodrigues de Sousa, o concreto celular não proporcionou acréscimo de 10% no consumo de energia elétrica, pelo contrário, houve uma redução, mínima de 2% em relação ao concreto normal. Atribui-se este comportamento a uma atenuação ocasionada pela ventilação natural durante o período da manhã e tarde, resfriando os dormitórios e, com isto, não demandando muito mais da potência do aparelho de ar condicionado durante a noite. Isto faz com que a menor transmitância térmica do concreto celular reduza a troca térmica entre o dormitório e o meio externo, possibilitando que o compressor do aparelho de refrigeração seja menos acionado durante a noite, ocasionando um menor consumo de energia em relação ao concreto normal, que permite a maior troca com o exterior.

As diferenças nos consumos de energia elétrica associados a refrigeração entre são bastante próximos, diferentemente do Residencial José Rodrigues de Sousa, em que houve uma diferença de 57 kwh/m2.ano em favor do concreto normal.

Tipo de sistema construtivo	Cr (kwh/m2.ano)	Classificação do PROCEL
Concreto Celular	371	E
Concreto Normal	380	E

Tabela 8 – Consumo relativo para refrigeração (Cr) para o Residencial Sion.

Os valores de consumo em kWh/m².ano foram bastante elevados na simulação do residencial Sion e classificam as duas situações para a eficiência E do PROCEL. Isto evidencia que, embora seja importante a escolha de sistemas construtivos com menores resistências térmicas, não descarta ou substitui um bom projeto que leve em consideração a orientação, a ventilação cruzada, o sombreamento das aberturas, entre outras estratégias passivas. Entretanto, os resultados mostram que essas estratégias, associadas ao envoltório de concreto celular para unidades em que a ventilação seja favorecida, pode proporcionar bons resultados em termos de conforto e eficiência energética.

Em suma, o concreto celular não se apresentou como melhor solução para edificações menos favorecidas pela ventilação natural, como os sobrados, de menor altura. Entretanto, pode ser uma alternativa de envoltória interessante se associada a boas estratégias passivas, principalmente no que concerne à ventilação e ao sombreamento das esquadrias. No PMCMV há uma tendência de edificações de 4 a 5

pavimentos ao invés de habitações térreas e sobrados, o que pode favorecer o emprego do concreto celular com vistas à maior eficiência energética e sustentabilidade destas HIS.

5. CONCLUSÕES

É importante considerar que ambos os residenciais nas simulações com o concreto celular e concreto normal foram ineficientes termicamente e não atenderam os níveis desejados para os Graus-hora de resfriamento e para consumo relativo para refrigeração. No entanto, o concreto normal se apresentou como melhor solução em comparação com o concreto celular para edificação de menor altura, menos privilegiada pela ventilação natural. E isso foi devido aos valores de resistência térmica total que são inversamente proporcionais aos valores de transmitância. Tais resultados contrariaram as recomendações da NBR 15220 (2005), mas concordam com pesquisas mais atualizadas para a zona bioclimática 8 como as do Roriz (2009) e Lobo (2018). Contudo, para edificações mais altas, com maior ventilação natural, o concreto celular pode vir a se constituir em uma boa alternativa quando houve condicionamento artificial.

Da mesma forma, os resultados evidenciaram a necessidade de estratégias projetuais para as habitações de interesse social; que visando a racionalidade e economia de recursos, reproduzem soluções padronizadas e que não se adaptam à realidade local. O concreto celular proporciona maior economia de cimento para as construtoras na moldagem *in loco* devido a adição de ar no seu interior, o que é favorável tanto em termos econômicos quanto ambientais.

Por esta razão e pelos resultados obtidos com a edificação de maior altura, sugere-se investigações mais aprofundadas, levando-se em conta a sinergia da envoltória com estratégias de projeto como aumento na espessura, isolamento ou não da cobertura, sombreamento e ampliação da área de esquadrias, entre outras com vistas a melhorar o desempenho térmico e com isto proporcionar maior eficiência energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Rio de Janeiro, 2013.

AKINS, R. E.; PETERKA, J. A.; CERMAK, J. E. **Average Pressure Coefficients for Rectangular Buildings.** In: Fifth International Conference of Wind Engineering. Fort Collings, CO. Proceedings... Pergamon Press, NY, 1979.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. 1993 Handbook of Fundamentals. Atlanta: ASHRAE.

BARROS, Mercia; SABBATINI, F. H. **Diretrizes para o processo de projeto para a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. São Paulo, EPUSP, 1996. 24p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT / PCC/172).

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanço Energético Nacional 2018**. Rio de Janeiro: EPE, 2018a. PROCEL INFO. FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações**. Déficit habitacional no Brasil 2015**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Brasília, 2015.

GOMES, A. P. **Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações Unifamiliares em Light Steel Framing**. 2007. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007.

LAMBERTS, R; DUTRA, L; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Editores. 1997.

LOBO, E. B. C. **Desempenho térmico de painéis em light steel framing em uma habitação de interesse social frente ao clima equatorial da Amazônia**. Dissertação de mestrado (arquitetura e urbanismo) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará. Belém-Pa, 2018.

MORAIS FILHO, Francisco Willame. **Desempenho térmico de fachadas ventiladas frente ao clima equatorial úmido da Amazônia**. Dissertação de mestrado (arquitetura e urbanismo) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará. Belém-Pa, 2019.

ROMERO, M. A.; ORNSTEIN, S. W. **Avaliação Pós Ocupação. Métodos e Técnicas Aplicados à Habitação Social**. 1. ed. Porto Alegre: Coleção Habitare/FINEP/ANTAC, 2003. v. 1. 293 p.

RORIZ, Maurício; CHVATAL, Karin M.S.; CAVALCANTI, Fernando Sá**. Sistemas construtivos de baixa resistência térmica podem proporcionar mais conforto**. Artigo. In: X ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Natal, 2009, Anais... Natal. ENCAC 2009, p 700-707.

SORGATO, Márcio José, MARINOSKI, Deivis Luis, MELO, Ana Paula, LAMBERTS, Roberto, **Nota técnica referente à a avaliação para a norma de desempenho 15575 em consulta pública**. Setembro de 2012.

SWAMI, M. V.; CHANDRA, S**. Correlation for pressure distribution on buildings and calculation of natural-Ventilation aiflow.** ASHRAE Transactions. 1988.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da graduanda em arquitetura Kessily Medeiros da UFPA e do Professor Cícero Lopes da PUC-Rio.