

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DA TECNOLOGIA CONSTRUTIVA BRASILEIRA EM CURITIBA

Helena Fernanda Graf (1); Sergio Fernando Tavares (2)

(1) Arquiteta e Urbanista, Doutoranda da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (USP), Professora do Departamento de Construção Civil (UFPR), helenafernanda@terra.com.br
Universidade Federal do Paraná / Universidade de São Paulo

(2) Arquiteto e Urbanista, Doutor em Engenharia Civil (UFSC), Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo (UFPR), sergioft22@yahoo.com.br
Universidade Federal do Paraná

RESUMO

Eficiência energética nas edificações é um assunto de relevância mundial. Quanto mais eficiente for uma edificação, menos energia deverá consumir e menos impacto para a produção dessa energia irá ser causado. Tornar o ambiente construído mais eficiente depende do adequado desenvolvimento dos projetos arquitetônicos, assim como de suas especificações, conforme as condições climáticas locais. Os ambientes precisam atingir condições de conforto para a atividade que pretendem abrigar, sendo que a baixa eficiência energética das edificações é agravada devido ao uso desnecessário da climatização artificial para atingir uma condição confortável. Uma boa forma de melhorar o desempenho de uma edificação é através do invólucro e seu isolamento térmico correto conforme o clima estudado. Quanto mais isolado o invólucro, uma quantidade maior de materiais será utilizada e, conseqüentemente, mais energia será incorporada à edificação, porém menor será a transmitância térmica. O valor de transmitância térmica das superfícies que compõem o invólucro é importante para manter a edificação na faixa de conforto térmico com a menor quantidade possível de energia para climatização dos ambientes. O objeto de estudo (amostra) para desenvolvimento da pesquisa é o projeto-padrão Residência Padrão Normal - R1-N da Norma Brasileira NBR 12721, a qual representa a realidade do mercado imobiliário nacional. A partir da composição de materiais dos elementos das superfícies da edificação, é calculada a transmitância térmica por área de superfície (paredes, janela, porta, lajes, cobertura). A pesquisa trata de um experimento e manipula as espessuras das superfícies que compõem o invólucro ao multiplicá-las por 2, 3, 4 e 5, criando variações de projeto. A partir das cinco variações, são mensurados os efeitos sobre a temperatura interna da edificação (através de simulação computacional). Ainda, são obtidos dados da energia de climatização necessária para adaptar o ambiente interno à faixa de conforto térmico. Como resultado, a edificação mostrou-se desfavorável ao clima de Curitiba (se sem climatização). Por necessitar de relevante quantidade de energia de climatização, a edificação mostrou-se inviável ambientalmente e financeiramente de ser implantada em Curitiba. Através da pesquisa, conclui-se que o uso da mesma tecnologia construtiva em um país de diversos climas não é recomendável em função do desconforto térmico ou do excessivo uso de climatização para tornar os ambientes habitáveis.

Palavras-chave: Conforto térmico; Desempenho térmico; Desempenho energético, Simulação; Arquitetura; Tecnologia construtiva; Curitiba.

ABSTRACT

Energy efficiency in buildings is an issue of global significance. How much more efficient is a building, it will consume less energy and less impact of energy production will be caused. Making the built environment more efficient depends on adequate development of architectural designs, as well as their specifications, as the local weather conditions. Indoor environments needs to achieve comfortable conditions for activity they intend to have, being that the low energy efficiency of buildings is enhanced by the unnecessary use of artificial acclimatization to achieve a comfortable condition. A good way to improve the performance of a building is through the insulation envelope as the climate studied. How much more insulated the envelope, a larger amount of material will be used and, consequently, more energy will be incorporated into the building, however, the

lower the transmittance. Thermal transmittance value is important for maintaining the building in the range of thermal comfort using less amount of energy for climate control. Design standard Normal Residence Standard - R1-N of the Brazilian Standard NBR 12721 is used to sample. It can represent the reality of the situation nationally. The research is an experiment, manipulating the thickness of the areas that compose the envelope of the building. It measures the effects on the indoor temperature of the building through computer simulation. From the material composition of the elements of the surfaces of the building and changes in design, thermal transmittance is calculated for the original project and four other variations. Energy data are obtained from acclimatization necessary to adapt to indoor comfort range. As a simulation results the building proved to be unfavorable to the climate of Curitiba, requiring all lot of energy of acclimatization, and this, resulting in a higher average monthly expense, even in the best situation studied. The research concludes that using the same construction technology in a country of many climates is not recommended due to the thermal discomfort or excessive use of acclimatization to become the habitable environments.

Keywords: Thermal indoor comfort; Thermal performance; Energy performance; Simulation; Architecture; Building technology; Curitiba.

1. INTRODUÇÃO

Todas as atividades antrópicas estão ligadas às edificações e todas estas, por sua vez, também se ligam àquelas, o que gera um círculo vicioso no qual quanto mais se tem, mais se precisa para manter o que se tem. A demanda energética tem aumentado e, com isso, há a necessidade de aumentar a produção de energia. Conforme o Balanço Energético Nacional 2009 (ano base 2008), o Brasil gerou 463.1 TWh de energia elétrica em 2008, resultado 4.2% superior ao do ano anterior (MME, 2009). As atividades desenvolvidas pelos usuários das edificações e das cidades necessitam de energia para poderem construir e manter estes espaços funcionando indiferentemente da fonte energética utilizada [petróleo, gás natural, energia elétrica, carvão mineral, lenha ou produtos da cana – principais fontes de energia em 2008 (MME, 2009)] e do setor [setor energético, setor comercial, setor público, setor residencial, setor agropecuário, setores de transporte e setores industriais – setores discriminados pelo Balanço Energético Nacional (2009)]. Essa é a razão pela qual a eficiência energética é um assunto de relevância. Quanto mais eficiente for um equipamento ou uma edificação, menos energia deverá consumir e menos impacto para a produção dessa energia irá ser causado, independente da matriz energética utilizada.

A melhor forma de melhorar o desempenho de uma edificação é através de seu invólucro (SZOKOLAY, 2010). Para tornar uma edificação mais eficiente energeticamente, há a necessidade de ajustar o nível de isolamento térmico do invólucro conforme o clima do local do estudo. O invólucro compreende as superfícies que fecham a construção e dividem os ambientes, estando em contato com o ambiente externo ou ambiente(s) vizinho(s). As superfícies são compreendidas como as partes do invólucro (compostas de componentes, elementos construtivos e/ou vedos) e fazem a divisão entre zonas de ar. O nível de isolamento pode ser verificado pela transmitância térmica dos materiais que compõem as superfícies do invólucro: quanto menor a transmitância térmica, mais isolada é a superfície.

O valor de transmitância térmica correto é importante para manter a edificação na faixa de conforto térmico adotada para a edificação escolhida (conforme o uso e o local), usando a menor (ou nenhuma) quantidade de energia para climatização dos ambientes.

A eficiência energética e o conforto ambiental da edificação estão intimamente relacionados com o local onde será implantada a edificação. O Brasil é um país que tem uma grande área territorial, 8 514 877 quilômetros quadrados (IBGE, 2010) e, devido à sua extensão, apresenta vários climas ao longo de seu território. Tem clima predominantemente quente, com regiões de clima equatorial, tropical, semiárido, tropical atlântico, tropical de altitude; e uma pequena parcela de clima subtropical (NIMER, 1989; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004). Dentro da pequena área de clima subtropical que existe no sul do Brasil, há cidades com diferentes relevos e características próprias como altitude que determinam climas específicos. A padronização das edificações em um país com climas tão variados ao longo do seu território deixa dúvidas sobre o correto uso de técnicas construtivas regionalizadas ao clima. Diferente do resto do país, de clima predominantemente quente, e localizada na pequena porção subtropical do Brasil, Curitiba é uma cidade de relevante interesse para estudo climático por ser a capital do Estado do Paraná e a sétima cidade mais populosa do Brasil, com 1 828 092 habitantes em 2008 (IPPUC, 2010); e por apresentar características climáticas incomuns no país: clima superúmido e temperado (IBGE, 1997). E como pode ser visto pela padronização das edificações no território nacional, não há preocupação com o isolamento adequado do envelope das edificações em Curitiba e em todo o país, as quais, apesar das diferenças climáticas, são feitas do mesmo modo.

Quadro 1 - Elementos construtivos que compõem as superfícies do invólucro da edificação R1N

Superfícies	Código do material	Elementos construtivos	Descrição
Laterais	(1)	Parede de meia-vez	Paredes menos espessas usadas para divisões internas da edificação
	(2)	Parede de uma vez	Paredes mais espessas usadas no perímetro da edificação (invólucro)
	(3)	Janela	Vidro e alumínio em aberturas acima do peitoril
	(4)	Porta	Madeira em aberturas de passagem (sem peitoril)
Superiores	(5)	Laje de forro	Laje superior entre o sótão e os cômodos
	(6)	Cobertura	Telhas e estrutura acima da laje de forro que define o sótão
Inferiores	(7)	Laje de piso	Laje entre os cômodos e o solo

São feitas alterações de projeto para estudar o comportamento térmico, através de variações no projeto original da R1-N. As alterações no projeto foram feitas na dimensão da espessura das superfícies, as quais foram, mantendo-se as mesmas composições de materiais e com isso as mesmas propriedades térmicas, duplicadas, triplicadas, quadruplicadas e quintuplicadas em espessura, sendo propostos quatro novos projetos, os quais são nomeados como: R1-N-2x, R1-N-3x, R1-N-4x e R1-N-5x, respectivamente.

A partir das variações na espessura das superfícies da edificação R1-N como alternativas ao possível mau desempenho térmico e/ou energético, obteve-se os projetos. Nessas situações, principalmente nas opções de espessura de superfícies quadruplicadas e quintuplicadas, o uso dos ambientes foi inviabilizado devido à redução dos espaços pelo aumento das espessuras dos elementos. Porém, para efeitos da simulação, que visa estudar a tecnologia construtiva em questão, esse parâmetro não é condicionante.

Os projetos criados a partir da alteração do projeto R1-N permitem estudar o comportamento térmico e energético na cidade de Curitiba para a edificação padrão brasileira – objeto de estudo – caso fossem apenas alteradas as espessuras das superfícies do invólucro da edificação, mantendo as técnicas construtivas nacionais, usando os mesmo materiais. Nesse estudo não são feitas substituições de materiais ou inserções de alternativas construtivas, pois isso descaracterizaria a tipologia construtiva do país.

3.1. Parâmetros de conforto térmico

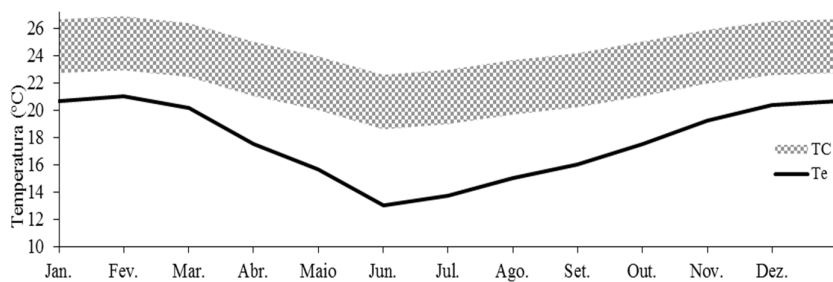


Figura 2 – Gráfico Nicol: faixa de conforto térmico para Curitiba. Fonte: Graf (2011).

Como parâmetro de conforto térmico, foi utilizada a faixa de conforto térmico adaptativo para Curitiba desenvolvida por Graf (2011) e apresentada por Graf ; Tavares (2012), a partir do método de Nicol; Humphreys (2002) (Figura 2).

3.2. Cálculos de transmitância térmica

A Norma Brasileira NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005) define seções e camadas para fins de cálculo, onde seção é uma parte da espessura do componente contendo apenas resistências térmicas em série; e camada é uma parte dessa seção – onde uma seção pode ser composta de uma ou mais camadas. Os cálculos foram feitos conforme esta metodologia. Esta mesma norma apresenta exemplos de elementos usualmente empregados nas construções e suas transmitâncias térmicas, porém estas não foram usadas. Visando uma maior precisão, todos os elementos, após definida sua composição, tiveram seus valores de transmitância térmica das superfícies da residência brasileira calculados.

3.3. Simulações de desempenho

As simulações do desempenho térmico e energético da edificação R1-N (e suas variações) foram feitas pelo *software* MESTRE (2011), o qual se encontra validado pelo procedimento para sistemas em múltiplas zonas sem fluxo de ar do *Building Energy Simulation Tool Bestest and Diagnostic Method* da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA*) (SCHMID, GRAF; 2011).

A partir do projeto da edificação R1-N, objeto de estudo, é construído o modelo para a simulação – em arquivo .obj – que permite a simulação da edificação. Essa construção do modelo é feita conforme a entrada de dados do arquivo, sendo, nessa ordem, dados iniciais, dados da geometria da edificação, dados de materiais, dados das zonas térmicas e dados climáticos. Os dados de entrada, bem como detalhes sobre a origem e tratamento dos mesmos podem ser obtidos em Graf (2011).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Resultados de transmitância térmica

Tabela 1 - Transmitância térmica dos elementos construtivos (R1-N)*

Cód.	Elementos construtivos	Composição de materiais (camadas)	Componentes	Resistência térmica parcial			Resistência térmica total Rt (m ² .K/W)	Transmitância térmica U (W/m ² .K)
				Rt**	Rse	Rsi		
(1)	Parede de meia	Alvenaria de meia-vez	Bloco cerâmico	0.2115	0.04	0.13	0.38	2.62
			Argamassa					
			Chapisco					
			Massa única					
			Emassamento					
(2)	Parede de uma	Alvenaria de uma-vez	Bloco cerâmico	0.3454	0.04	0.13	0.52	1.94
			Argamassa					
			Chapisco					
			Massa única					
			Emassamento					
(3)	Janela	Alumínio	-	0.0040	0.04	0.13	0.17	5.75
			Vidro					
(4)	Porta	Pintura	-	0.1525	0.04	0.13	0.32	3.10
			Madeira					
(5)	Laje de forro	Laje pré-fabricada	Argamassa	0.1355	0.04	0.17	0.35	2.89
			Impermeabilizante					
			Enchimento cerâmico					
			Interreixo					
			Capecimento					
			Chapisco					
			Massa única					
			Emassamento					
(6)	Cobertura	Telha de fibrocimento	-	0.0144	0.04	0.17	0.22	4.46
			Estrutura de madeira					
(7)	Laje de piso	Laje pré-fabricada	Argamassa	0.1937	0.04	0.1	0.33	3.00
			Cimento					
			Piso cerâmico					
			Argamassa					
			Contrapiso					
			Impermeabilizante					
			Enchimento cerâmico					
			Interreixo					
Capecimento								

*cálculo feito conforme ABNT (2005); **cálculos de Rt detalhados em Graf (2011).

Tabela 2 - Transmitância térmica dos elementos construtivos após alteração de projeto

Cód.	Elementos construtivos	Edificação	Espessura* e (m)	Condutividade térmica** λ (W/m.K)	parcial			Resistência térmica total Rt (m ² .K/W)***	Transmitância térmica U (W/m ² .K)***
					Rt	Rse	Rsi		
(1)	Parede de meia	R1-N (projeto original)	0.1059	0.5007	0.2115	0.04	0.13	0.381456213	2.62
			0.2117	0.5007	0.4229	0.04	0.13	0.592912425	1.69
			0.3176	0.5007	0.6344	0.04	0.13	0.804368638	1.24
			0.4235	0.5007	0.8458	0.04	0.13	1.015824851	0.98
			0.5294	0.5007	1.0573	0.04	0.13	1.227281063	0.81
(2)	Parede de uma	R1-N (projeto original)	0.2059	0.5960	0.3454	0.04	0.13	0.515396823	1.94
			0.4117	0.5960	0.6908	0.04	0.13	0.860793645	1.16
			0.6176	0.5960	1.0362	0.04	0.13	1.206190468	0.83
			0.8235	0.5960	1.3816	0.04	0.13	1.55158729	0.64
			1.0294	0.5960	1.7270	0.04	0.13	1.896984113	0.53
(3)	Janela	R1-N (projeto original)	0.0040	1.0000	0.0040	0.04	0.13	0.174	5.75
			0.0080	1.0000	0.0080	0.04	0.13	0.178	5.62
			0.0120	1.0000	0.0120	0.04	0.13	0.182	5.49
			0.0160	1.0000	0.0160	0.04	0.13	0.186	5.38
			0.0200	1.0000	0.0200	0.04	0.13	0.19	5.26
(4)	Porta	R1-N (projeto original)	0.0352	0.2306	0.1525	0.04	0.13	0.3224758	3.10
			0.0703	0.2306	0.3050	0.04	0.13	0.4749516	2.11
			0.1055	0.2306	0.4574	0.04	0.13	0.6274274	1.59
			0.1406	0.2306	0.6099	0.04	0.13	0.779903199	1.28
			0.1758	0.2306	0.7624	0.04	0.13	0.932378999	1.07
(5)	Laje de forro	R1-N (projeto original)	0.1219	0.8996	0.1355	0.04	0.17	0.345476205	2.89
			0.2437	0.8996	0.2710	0.04	0.17	0.48095241	2.08
			0.3656	0.8996	0.4064	0.04	0.17	0.616428615	1.62
			0.4875	0.8996	0.5419	0.04	0.17	0.75190482	1.33
			0.6094	0.8996	0.6774	0.04	0.17	0.887381025	1.13
(6)	Cobertura	R1-N (projeto original)	0.0083	0.5800	0.0143765	0.04	0.17	0.224376546	4.46
			0.0167	0.5800	0.0287531	0.04	0.17	0.238753092	4.19
			0.0250	0.5800	0.0431296	0.04	0.17	0.253129638	3.95
			0.0334	0.5800	0.0575062	0.04	0.17	0.267506184	3.74
			0.0417	0.5800	0.0718827	0.04	0.17	0.281882729	3.55
(7)	Laje de piso	R1-N (projeto original)	0.2010	1.0377	0.1936989	0.04	0.1	0.333698874	3.00
			0.4020	1.0377	0.3873977	0.04	0.1	0.527397747	1.90
			0.6030	1.0377	0.5810966	0.04	0.1	0.721096621	1.39
			0.8040	1.0377	0.7747955	0.04	0.1	0.914795494	1.09
			1.0050	1.0377	0.9684944	0.04	0.1	1.108494368	0.90

*Valores para R1-N e multiplicado para os demais; **valores calculados em Graf (2011); ***cálculos de Rt e U conforme ABNT (2005).

A partir das propriedades térmicas dos materiais, o cálculo das resistências foi feito para cada camada de cada seção de cada elemento. Para os elementos constituídos de um único material – como o vidro - não foi preciso realizar o cálculo por seções e camadas devido à sua homogeneidade e seus resultados são calculados e apresentados diretamente. Para os demais materiais, foi feito primeiramente o cálculo da resistência térmica de cada elemento composto e, depois, os valores encontrados foram apresentados. A resistência térmica é obtida para permitir o cálculo da transmitância térmica, conforme a metodologia adotada (Tabela 1).

A partir do momento em que apenas são multiplicadas as espessuras sem alterar a composição, a condutividade térmica do elemento é mantida em R1-N-2x, R1-N-3x, R1-N-4x e R1-N-5x como em R1-N, porém, a transmitância térmica muda ao haver alteração da resistência térmica do elemento. As resistências superficiais permanecem as mesmas e fazem diferença nesse cálculo. Dessa forma, a transmitância térmica foi novamente calculada em função das mudanças de projeto (variações) e são apresentadas na Tabela 2.

4.2. Relação entre espessura e transmitância térmica

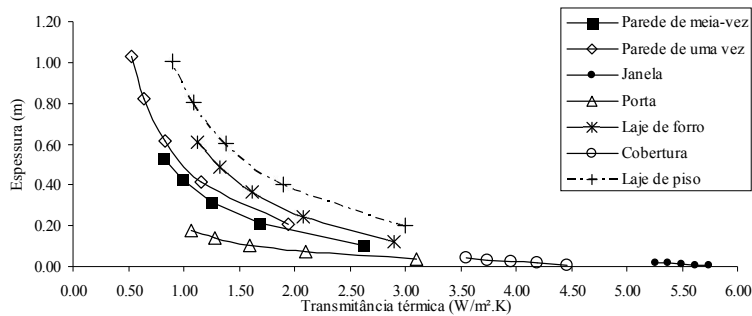


Figura 1 – Relação entre espessura (e) e transmitância térmica (U) dos elementos da R1-N e variações.

A alteração da espessura permite relacioná-la à transmitância térmica apresentando uma curva dessas variáveis. Com o aumento da espessura, paredes e lajes diminuem a transmitância de forma não linear, tendendo a um ponto ótimo, onde a curva estabiliza-se para, logo, começar a retornar. Porém, esse ponto não pôde ser atingido devido à redução de área útil dos ambientes, tornando-os

inabitáveis, sendo apenas testadas as condições definidas (R1-N, R1-N-2x, R1-N-3x, R1-N-4x e R1-N-5x), estas já capazes de inviabilizar o uso de alguns ambientes. Elementos como cobertura e janela tem uma curva imperceptível, pois suas espessuras, de pequenos valores, não criam uma variação visível graficamente no eixo da transmitância térmica (Figura 3).

4.3. Resultados de conforto térmico

A partir das simulações de desempenho térmico, são obtidos os resultados de temperaturas da edificação R1-N ao longo do ano para cada hora (8760 horas) e para cada zona térmica da residência. Uma média das zonas habitadas (hora a hora) é apresentada como as temperaturas da edificação (Figura 4), de forma que a variação das temperaturas, ao longo do ano, pode ser vista. A faixa de conforto térmico é apresentada junto às temperaturas da edificação permitindo visualizar graficamente as temperaturas que estão fora das condições de conforto necessárias para a utilização dos ambientes. Pode-se verificar que há uma quantidade expressiva de horas fora do conforto térmico, prevalecendo as horas de frio na R1-N, inviabilizando-a para uso de habitação nas condições originais em que se encontra.

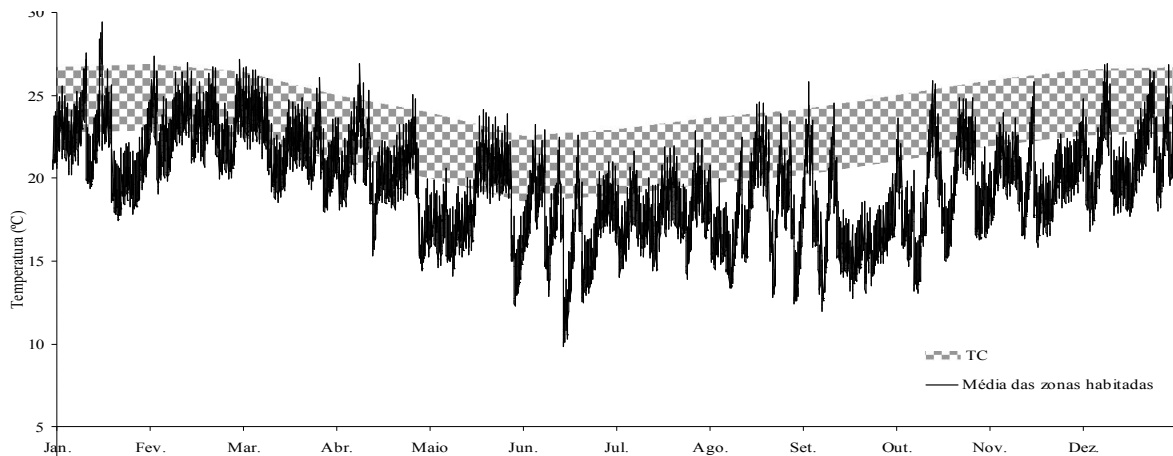


Figura 4 – Temperatura ao longo do ano na R1-N – média das zonas habitadas.

4.3.1. Porcentagem de horas em conforto e desconforto térmico

São apresentados os resultados da quantidade de horas do ano em que estão dentro da faixa de conforto térmico determinada e a quantidade de horas em que estão fora da mesma. Estas são separadas em horas acima (calor) e horas abaixo (frio) das temperaturas da faixa para R1-N e suas variações (Figura 5).

A edificação em sua situação original, R1-N, encontra-se em **83%** do tempo em **frio**, 3% em calor e apenas 14% em conforto térmico durante o ano (porcentagem das horas). Observa-se que à medida que a edificação ganha em aumento da espessura das superfícies, o desempenho térmico é melhorado e as horas em desconforto dos usuários diminuem, chegando a aumentar em 30% o tempo em conforto (R1-N-5x). Porém, mesmo com a espessura das superfícies quintuplicadas, com os materiais usados, não se obtém um desempenho satisfatório da edificação, sendo necessário o uso de climatização artificial, principalmente para **aquecer** os ambientes.

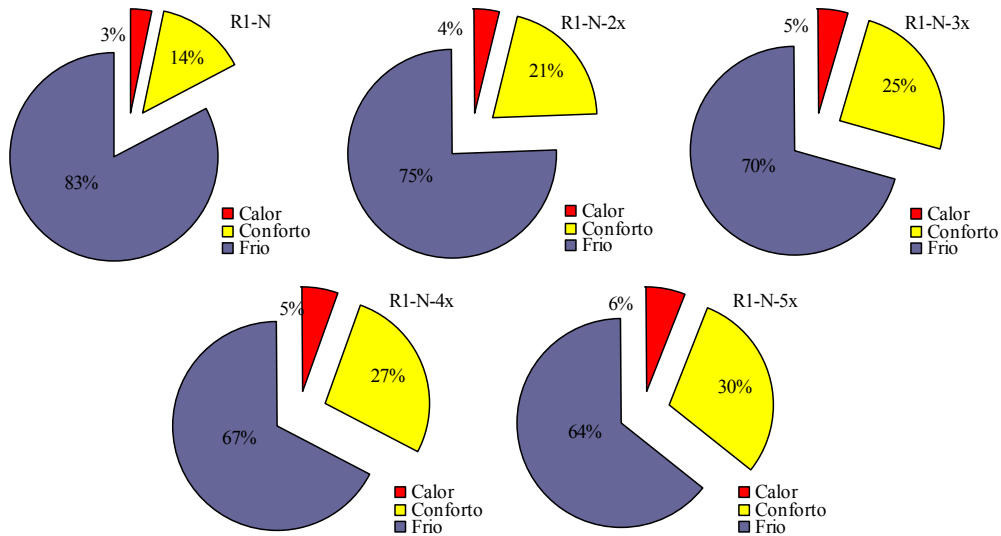


Figura 5 – Porcentagem de horas (h) de conforto térmico e desconforto (por frio e calor) da R1-N e variações em Curitiba.

4.4. Resultados da energia para climatização

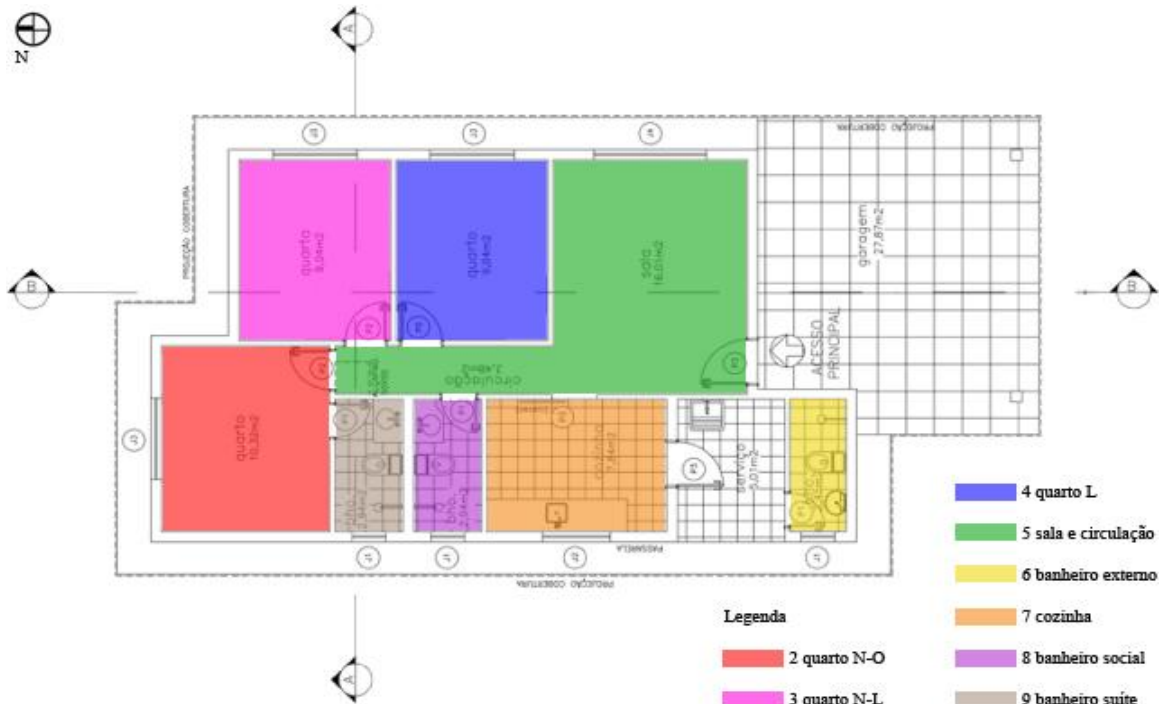


Figura 6 – Zonas térmicas da R1-N (exceto: 0 ar externo, 1 solo e 10 sótão) sob projeto arquitetônico.
Fonte: A autora (2011), a partir do projeto arquitetônico (SINDUSCON-MG, 2007).

Os resultados de valores de energia apresentados – desempenho energético – são oriundos da climatização para manter a edificação com as temperaturas, ao longo do ano, sempre dentro da faixa de conforto térmico estabelecida. Os resultados são apresentados por zona térmica, separados entre climatização de aquecimento e climatização de resfriamento. O resultado total a partir da soma das zonas térmicas também é apresentado.

Também são apresentados os gastos, em reais, para climatização (Tabela 3), a partir do valor da energia, R\$ 0.46012/kWh, segundo a COPEL (2011). Foram climatizadas as zonas térmicas correspondentes a ambientes habitados (2 quarto N-O, 3 quarto N-L, 4 quarto L, 5 sala e circulação, 6 banheiro externo, 7 cozinha, 8 banheiro social, 9 banheiro suite) e os resultados se restringem a essas zonas (Figura 6). Foi considerado o Coeficiente de Performance – COP como 2.5 (SISSOM; PITTS, 1988).

Tabela 3 : Energia usada para climatização (ano) - Wh/ano

Zona	R1-N		R1-N-2x		R1-N-3x		R1-N-4x		R1-N-5x	
	Aquec.	Resfr.	Aquec.	Resfr.	Aquec.	Resfr.	Aquec.	Resfr.	Aquec.	Resfr.
2 quarto N-O	3364267	-214	1979405	-184	1401066	-170	1123704	-338	957684	-909
3 quarto N-L	2520111	-385	1448034	-382	1003176	-338	792536	-285	667945	-287
4 quarto L	2721815	-797	1848905	-427	1491588	-424	1315574	-426	1196010	-455
5 sala e circulação	5009336	-2173	2918055	-1783	2055547	-1556	1643337	-1185	1397858	-1241
6 banheiro externo	2331753	-2957	1548160	-1315	1201433	-1475	1012714	-1884	887711	-2471
7 cozinha	1636966	-982158	813876	-1244734	514077	-1385270	380970	-1470412	302457	-1529451
8 banheiro social	923131	-556936	724049	-671504	657312	-730136	628824	-765161	608950	-789015
9 banheiro suite	968123	-551093	758639	-666290	682844	-726231	646834	-762438	620859	-787293
	19475503	-2096712	12039124	-2586618	9007043	-2845600	7544494	-3002128	6639473	-3111124
	90.28%	9.72%	82.31%	17.69%	75.99%	24.01%	71.53%	28.47%	68.09%	31.91%
	21572215		14625742		11852643		10546622		9750597	
	Wh/ano ou		Wh/ano ou		Wh/ano ou		Wh/ano ou		Wh/ano ou	
Total	77660		52653		42670		37968		35102	
	MJ/ano		MJ/ano		MJ/ano		MJ/ano		MJ/ano	
Tarifa de energia (R\$/kWh) *	0.46012									
Custo por ano (R\$)**	3970.32		2691.84		2181.46		1941.08		1794.58	
Custo por mês - média (R\$)**	330.86		224.32		181.79		161.76		149.55	

*Valor da COPEL (2011).

**considerando COP - Coeficiente de Performance = 2.5 (SISSOM; PITTS, 1988).

4.5. Relação entre espessura e energia para climatização

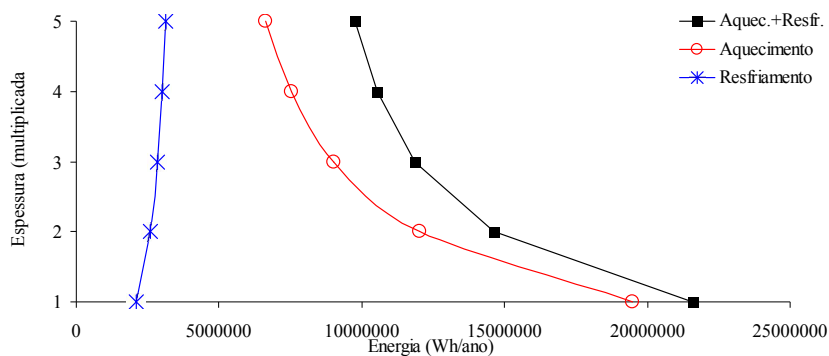


Figura 7 – Relação entre espessura (e) e energia para climatização (Q) da R1-N e variações.

energia necessária para a climatização e sua relação com a espessura das superfícies do invólucro é apresentada (Figura 7), onde os fatores de multiplicação da espessura (1x, 2x, 3x, 4x, 5x) são dispostos no eixo vertical, representando as variações de projeto (R1-N, R1-N-2x, R1-N-3x, R1-N-4x e R1-N-5x) e a energia necessária para manter a edificação termicamente confortável (dentro da faixa definida) é apresentada como a energia total (usada para aquecimento e resfriamento da edificação) e, em separado, energia de aquecimento e energia de resfriamento.

A edificação R1-N e suas variações necessitam de considerável quantidade de energia de climatização para estar dentro da faixa de conforto térmico para fins de habitação. Tomando por exemplo a variação intermediária R1-N-3x, além de impactar o meio ambiente, essa necessidade de climatização gera um custo de energia médio mensal de R\$ 181.79, calculado a partir do valor da tarifa de energia em Curitiba para residências, o qual é de 0.46012 R\$/kWh (COPEL, 2011). Sendo a média de consumo por edificação brasileira de 159 kWh/mês (TAVARES, 2006), o que resultaria em uma conta de energia no valor de R\$ 73.16 (para toda a energia da edificação), pela tarifa da Copel (2011), verifica-se que o gasto da R1-N-3x, apenas com climatização, já equivale a aproximadamente 2.5 vezes esse valor de consumo total de uma residência.

Os cálculos da transmitância térmica permitem visualizar as condições do invólucro das edificações brasileiras em relação à troca de calor com o ambiente externo. As superfícies estudadas apresentam valores de transmitância térmica muito acima de valores internacionais, os quais, para uma residência tradicional, são menores que $0.4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (sendo que a espessura das superfícies varia normalmente entre 25 e 40 centímetros) (KROPE; GORICANEC, 2009). Esse valor de transmitância térmica não poderá ser atingido, dentro de uma espessura viável de ser construída e de forma sustentável, com a tecnologia construtiva brasileira, sugerindo-se estudos com a inserção de materiais exóticos, ou mesmo, estudos de novas tecnologias locais para criação de materiais ou compostos que possam melhorar esses valores. Quanto ao uso de materiais locais para ser feita uma alteração na tecnologia construtiva para a localidade e o clima de Curitiba, a madeira poderia ser escolhida para a construção de elementos de superfície devido às suas propriedades térmicas e baixo impacto ambiental. Por tratar-se de local de clima úmido e temperado, soluções para aquecimento solar passivo precisam ser inseridas no projeto, uma vez que podem trazer ganhos consideráveis no desempenho térmico da edificação, quando associadas à inércia térmica, uma vez que, apenas o aumento da espessura das superfícies do invólucro não resolve o desconforto predominante (por frio).

Uma forma diferente da realizada de análise da edificação pode ser pela alteração das espessuras dos elementos de superfícies em separado (um por vez). Seria feita a análise da influência específica de cada composição de materiais na edificação e, por fim, uma análise do comportamento da edificação como um todo. Depois de feitos estudos por simulações computacionais variando um elemento de superfície de cada vez, uma relação entre horas dentro da faixa de conforto térmico e transmitância térmica poderia ser obtida para cada tipo de superfície. O mesmo poderia ser feito para energia para a climatização e transmitância térmica, obtendo-se uma relação direta (sendo esta, uma sugestão para estudos futuros).

5. CONCLUSÕES

Sem interferências no modo de construir ou sem o apoio de um sistema de climatização, a edificação padrão brasileira não pode ser utilizada em Curitiba como moradia, por estar fora das condições ambientais para ser habitável ao não atender às necessidades de temperatura conforme a possibilidade de adaptação do corpo humano.

Estudos de desempenho térmico e energético, assim como de sustentabilidade, para Curitiba são recomendados testando-se não apenas outros materiais, mas alterações de geometria (volume e forma), assim como, observando-se o comportamento da residência quanto à orientação solar das superfícies do invólucro e seus efeitos a partir da composição formal da edificação.

Após estudos (futuros) para o invólucro da edificação (de forma a resolver as questões de conforto térmico e de sustentabilidade) pela alteração da tecnologia construtiva brasileira (para minimizar a energia necessária para climatização), pode ser feita também a análise do ciclo de vida da edificação, a qual envolve todas as energias utilizadas em todas as fases da residência. Esta envolve a energia incorporada, a energia de uso (de toda a edificação: equipamentos, iluminação, climatização e demais), a energia incorporada de reposição/manutenção e outras. Esta análise não se relaciona diretamente com o estudo de conforto térmico da edificação, mas, se previamente este for feito (como aqui), dará mais credibilidade à análise do ciclo de vida.

Recomenda-se realizar o presente estudo da edificação R1-N em outras localidades brasileiras, a fim de verificar se a tecnologia construtiva usada como nacional pode ser aplicada em um determinado local, e seu clima específico, ou se não há aplicabilidade desta no território brasileiro. Considerando a grande extensão do país e a variedade de climas, a edificação padrão brasileira pode ser adequada para outro local, que não seja em Curitiba.

Dessa forma, conclui-se que o projeto da edificação padrão, indiferente de qual variação de projeto, não atende às necessidades da cidade de Curitiba sem o uso de climatização (de alto custo ambiental e financeiro). São necessárias intervenções de projeto como a substituição de materiais e tecnologias construtivas, alteração da disposição dos ambientes, volume e/ou forma. Intervenções que incluam outros materiais e tecnologias fazem-se necessárias também pela considerável perda de área de piso dentro dos ambientes, devido ao aumento das espessuras das superfícies, ao ser mantida a tecnologia construtiva inicial do projeto da R1-N. Um estudo que associe as superfícies do invólucro e a orientação solar das mesmas também seria de relevante contribuição.

A tecnologia construtiva usada em todo o país não atende às demandas do clima de Curitiba, comprovando que um projeto padronizado não pode ser utilizado em todo o Brasil, este que apresenta tantas características diferentes ao longo do seu território, quanto à cultura, aos aspectos sociais, ao acesso às tecnologias construtivas, à disponibilidade de mão de obra e, em especial, aos climas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12721: Avaliação de custos unitários e preparo de orçamento de construção para incorporação de edifícios em condomínio**. Rio de Janeiro, 2006.

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

COPEL – Companhia Paranaense de Energia. **Taxas e Tarifas, Tarifas por Classe - Residencial Convencional**. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereço=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F3a5cb971ca23bf503257488005939ba>. Acesso em: 26/04/11. 2011.

GRAF, H. F.; TAVARES, S. F. **Conforto térmico para a cidade de Curitiba: faixa de temperaturas de conforto adaptativo**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XIV, 2012 Juiz de Fora, Anais, Juiz de Fora, 2012.

GRAF, Helena Fernanda. **TRANSMITÂNCIA TÉRMICA & ENERGIA INCORPORADA NA ARQUITETURA: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a Norma NBR 12721**. Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - PPGCC, Área de Concentração: Ambiente Construído, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **A Família Brasileira**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/pesquisas/familia.html>. Acesso em: 26/01/2011. 2011b.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área Territorial Oficial**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm. Acesso em: 26/01/2010. 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. Anuário Estatístico do Brasil. **Unidades climáticas**. 1997.

IPPUC - Instituto de pesquisa e planejamento urbano de Curitiba. **Curitiba em dados 2008**. Disponível em: http://ippucnet.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/Curitiba_em_dados_Pesquisa.asp. Acesso em: 26/01/2010. 2010.

KROPE, Jurij; GORICANEC, Darko. **Capítulo 2: Energy Efficiency and Thermal Envelope**. A Handbook of Sustainable Building Design & Engineering - An Integrated Approach to Energy, Health and Operational Performance. Editado por: Dejan Mumovic, Mat Santamouris. Londres: Earthscan, 2009.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 2ªed. São Paulo: ProLivros, 2004.

MESTRE - Mestre Building Simulation System. Versão 2011. Desenvolvido por: SCHMID, Aloísio Leoni. *Software*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2011.

MME - Ministério das Minas e Energia (Brasil). **Balço Energético Nacional 2009: Ano base 2008**. Rio de Janeiro : EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2009.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A.. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. Energy and Buildings 34 (2002) 563-572. 2002.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

ROBSON, Colin. **Real world research: A Resource for Social Scientists and Practitioner - Researchers**. 2ª ed. Blackwell, 2006.

SCHMID, Aloísio Leoni; GRAF, Helena Fernanda. **Validation of Mestre Building Simulation System according to Best-Test Multi-Zone, Non-Airflow, In-Depth Diagnostic Cases**. In: BUILDING SIMULATION 2011, Sydney. Anais. Sydney, 2011.

SINDUSCON-MG - Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais. **Custo Unitário Básico (CUB/m²): principais aspectos**. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2007. 112p. CDU 69: 657.474.5. 2007

SISSOM, L. E.; PITTS, D. R. **Fenômenos de Transporte**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.

SZOKOLAY, Steven V. **Introduction to Architectural Science – The Basis of Sustainable Design**. 2ª edição. 2010.

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