

O IMPACTO ENERGÉTICO DA REFLEXÃO SOLAR PROVENIENTE DOS ELEMENTOS DO ENTORNO URBANO EM UMA EDIFICAÇÃO LOCALIZADA EM FLORIANÓPOLIS-SC

Izabella Lima (1); Roberto Lamberts (2); Veridiana Scalco (3); Rogério Versage (4)

(1) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do PósARQ - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFSC, bellamedeiros@hotmail.com

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, roberto.lamberts@ufsc.br

(3) PhD, Professora do PósARQ da UFSC e Unisul, veridi@gmail.com

(4) Dr, Professor do IFSC – Instituto Federal de Educação de Santa Catarina, rogerio@versage.com.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Caixa Postal 476, Florianópolis - SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721-5184

RESUMO

Aponta-se o adensamento urbano como melhor solução para o crescimento sustentável das cidades. Entretanto, este resulta na modificação dos materiais de recobrimento do solo e em uma maior proximidade entre os edifícios, com efeitos no consumo energético dos mesmos. Dessa forma, surge a necessidade de pesquisas que avaliem as edificações, do ponto de vista energético, dentro de contextos urbanos. O presente estudo tem o objetivo de avaliar o impacto da reflexão solar proveniente de elementos do meio urbano no desempenho energético de um ambiente interno de uma edificação de uso comercial condicionado artificialmente na cidade de Florianópolis. A pesquisa foi realizada em duas etapas: a primeira referente à variação dos valores de refletância do solo (caso A) e a segunda referente à variação dos valores de refletância de uma edificação do entorno imediato (caso B), totalizando 21 cenários. A avaliação foi realizada por meio de simulações computacionais com o *software EnergyPlus* a partir das cargas necessárias para aquecimento e resfriamento para manter uma temperatura do ar interna estipulada entre 18°C e 24°C. As análises dos resultados demonstraram a necessidade da inserção das reais características do entorno urbano nas simulações, sejam elas referentes à refletância dos materiais urbanos ou à existência de obstruções como edifícios, apontando uma imprecisão entre as simulações que não levaram em conta o contexto urbano e as que levaram de até 80%.

Palavras-chave: desempenho energético, contexto urbano, simulação computacional.

ABSTRACT

Urban densification is pointed out as the most the advantageous solution for the sustainable growth of cities. However, urban densification results on the transformation of soil cover materials and on a greater inter-relationship between buildings, resulting in significant changes in their energy consumption. In order to understand such impact, it becomes crucial to conduct researches that evaluate a construction from an energetic aspect within an urban context. This study aims to evaluate the impact of solar reflection from an urban setting on the energy performance of the environment inside a commercial building artificially conditioned in Florianópolis. The research was executed in two stages: the first one refers to the variation of the reflectance values of the soil (case A) and the second one refers to the variation of the reflectance values of a nearby building (case b), totaling 21 scenes. The evaluation was performed through computer simulations using *Energyplus* software from heating and cooling charge required to keep the inside temperature between 18C and 24C. This study findings demonstrate the importance of using the real characteristics of the urban context, whether they result from urban material reflectance or from the existence of obstructions to buildings, pointing out imprecisions of up to 80% between the simulations in which the urban context was disregarded and those worked out taking it into consideration.

Keywords: energy performance, urban context, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia tem crescido rapidamente em todo o mundo nas últimas décadas. As cidades são responsáveis por grande parcela deste consumo e o edifício em si representa 40% do consumo final de energia (IEA, 2013). O uso de energia nas cidades tende a ser cada vez maior diante da urbanização e propensão de crescimento da população nas áreas urbanas de em média 72% até 2050 (UN DESA, 2011). No Brasil, observa-se a mesma tendência: segundo Carvalho (2002), nos anos de 1940, 37% da população brasileira concentrava-se nas áreas urbanas. Em 2014 esse número já havia alcançado 84% (IBGE, 2014).

Por questões econômicas (menores gastos com os sistemas urbanos), sociais (menores distâncias a serem percorridas) e ambientais (menos destruição de áreas verdes) aponta-se o adensamento urbano como a melhor solução para o crescimento sustentável nas áreas urbanas. Porém, o aumento da densidade urbana agrava ainda mais os problemas climáticos resultantes da urbanização proporcionados pela impermeabilização do solo, utilização de materiais de alta absorção e diminuição de áreas vegetadas. Além disso, o aumento da densidade urbana resulta em uma maior proximidade entre as edificações. Estes fatores possuem possíveis efeitos no consumo energético dos edifícios, resultante do aumento da temperatura do ar, diminuição da velocidade do vento e a alteração do balanço de radiação solar.

A análise conjunta de todos os elementos do contexto urbano detalhados, assim como seu impacto em todas as diferentes escalas climáticas e consequente impacto no desempenho térmico e energético das edificações ainda é um desafio para a simulação computacional. Diferentes escalas temporais e dimensionais referentes aos modelos, assim como a limitação das máquinas inviabilizam uma previsão anual dos impactos energéticos das diferentes características do contexto urbano (SREBRIC 2015). Dessa forma, a problemática da presente pesquisa baseia-se em analisar a influência isolada de um elemento modificado pelo contexto urbano, a radiação solar, a partir de diferentes valores de refletância dos elementos do entorno urbano no desempenho energético de edificações.

A quantidade de radiação solar que atinge os edifícios nas áreas urbanas irá depender da reflexão e do sombreamento provocados pelos elementos do entorno, como edificações, arborização e o próprio solo, além dos fatores geográficos referentes à insolação como latitude e altitude. Diante da maior proximidade entre os edifícios, os efeitos da reflexão solar e do sombreamento tornam-se mais intensos, principalmente em cidades de alta densidade urbana, e dessa forma surge a necessidade de pesquisas que avaliem as edificações, do ponto de vista climático e energético, dentro de contextos urbanos. Esta necessidade parte do princípio de que as análises do edifício isoladamente já não representam mais a realidade destes lugares referentes à sua demanda por aquecimento, resfriamento e sistema de iluminação, já que não levam em conta os efeitos provocados pelos edifícios de seu entorno.

A maioria dos estudos referentes ao consumo energético das edificações ainda não levam em conta as edificações do entorno urbano (ALLEGRI. DORER, CARMELIET, 2012). Com o aumento da população urbana e do adensamento a relação entre prédios deve ser crescente, modificando significativamente o consumo energético dos mesmos (ALLEGRI. DORER, CARMELIET, 2012). Essa constatação pode ser observada a partir de simulações computacionais energéticas comparando a demanda de energia de um edifício analisado isoladamente com a demanda de um edifício modelado juntamente com seu entorno. Neste sentido os edifícios de entorno estão começando a ser considerados em algumas simulações energéticas como elementos de sombreamento do entorno urbano, exemplificando a importância de se levar em consideração o impacto no entorno no projeto arquitetônico.

Pisello et al. (2012) encontraram imprecisões na predição de energia de até 32,7% entre estes dois cenários, em diferentes contextos climáticos dos Estados Unidos. De modo geral, no verão observou-se uma superestimação no consumo de energia, principalmente no contexto climático mais quente, de até 47%. Já no inverno houve subestimação do consumo energético, principalmente no contexto climático mais frio, onde a taxa alcançou 22%. Samuelson et al. (2015) demonstraram o efeito da consideração de edificações do entorno em simulações computacionais de energia em quatro diferentes contextos urbanos, indicando que esse impacto é significativo mesmo em contextos urbanos pouco densos. Han, Taylor e Pisello (2015) também consideraram os edifícios de entorno como elementos de sombreamento em diferentes contextos climáticos e observaram que o impacto na imprecisão da predição de energia quando não se leva em conta o efeito entre prédios é maior em locais de clima mais quente.

Diante do exposto, o presente estudo propõe-se a demonstrar a necessidade da consideração de condições mais reais do entorno em simulações computacionais de energia para uma maior precisão na predição do consumo energético das edificações, não apenas considerando elementos externos como elementos de sombreamento, mas considerando também seus reais valores de refletância, para que a reflexão solar, proveniente da radiação direta e difusa, seja levada em consideração da maneira como realmente de apresentam no meio urbano, seja ela proveniente do solo ou de superfícies verticais.

2. OBJETIVO

Avaliar o impacto da reflexão solar proveniente do solo e de uma edificação do entorno imediato no desempenho energético de um ambiente interno de uma edificação de uso comercial condicionado artificialmente a partir de diferentes valores de refletância dos elementos do meio urbano na cidade de Florianópolis.

3. MÉTODO

O artigo apresenta duas análises diferentes em relação à refletância dos elementos do entorno de uma edificação. Primeiramente avalia-se o impacto referente à reflexão solar proveniente do solo – o denominado caso A, e depois é analisado o impacto da reflexão solar proveniente de uma edificação de entorno – o denominado caso B. Como parâmetro de comparação para ambos os casos foi simulado também um caso base. A caracterização climática da cidade de estudo, a caracterização do modelo base e a descrição detalhada de cada caso será apresentada a seguir. As análises energéticas foram realizadas de forma paramétrica com os programas computacionais *EnergyPlus* (simulação energética) e *JEPlus* (simulação paramétrica), a partir dos dados obtidos referentes à carga para aquecimento, carga para resfriamento e radiação solar incidente nas superfícies.

3.1 Caracterização climática

A análise anual de desempenho energético foi realizada para a cidade de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, localizada na região sul do Brasil. A cidade possui clima temperado e úmido de acordo com a classificação de Köppen (1936), com médias mínimas e máximas de temperatura entre 20,3°C e 28,4°C no verão e entre 13,3°C e 21,2°C no inverno. A umidade relativa mantém-se acima de 80% durante todo o ano (BRASIL 1992). Para as simulações foi utilizado o arquivo climático INMET (2016) referente ao contexto climático da cidade de Florianópolis.

Por tratar-se de um estudo referente à reflexão solar, faz-se necessário apresentar aqui a carta solar da cidade, que determina a trajetória do sol na latitude 27°66' sul, e indica a intensidade da radiação solar global até dia 21 de junho na Figura 1 e a partir do dia 21 de junho na Figura 2. A partir delas observa-se que a fachada norte recebe insolação direta na grande parte das horas do ano, enquanto a fachada sul apenas recebe radiação solar direta no início da manhã e no fim da tarde dos meses de verão. Dessa forma, como o estudo buscava analisar o fenômeno da reflexão solar optou-se por realizar a análise apenas na orientação sul, diminuindo ao máximo a influência da radiação direta na superfície em contato com o meio externo do edifício de análise e potencializando a possibilidade de reflexão da edificação de entorno, que receberia radiação solar direta em sua fachada norte.

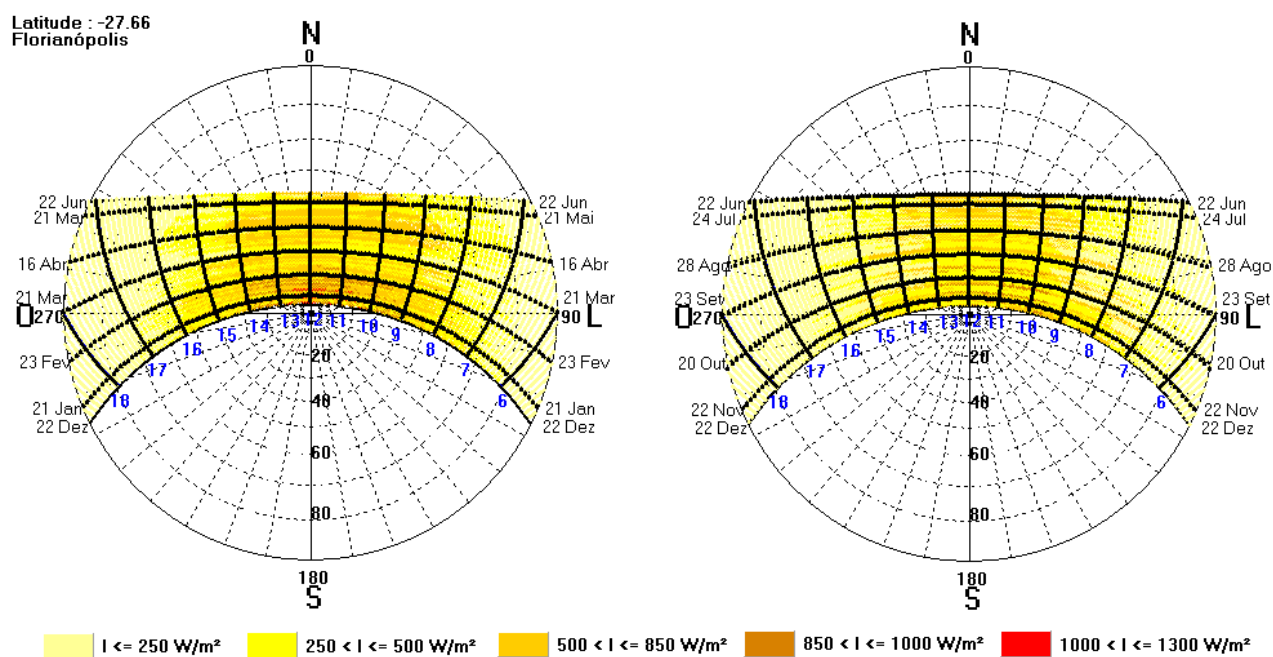


Figura 1: Carta solar da cidade de Florianópolis com indicação da intensidade da radiação global até dia 21 de junho. Fonte: Programa computacional SOL-AR.

Figura 2: Carta solar da cidade de Florianópolis com indicação da intensidade da radiação global após o dia 21 de junho. Fonte: Programa computacional SOL-AR.

3.2 Caracterização do modelo

Para o presente estudo foi elaborada uma edificação modelo de dimensões hipotéticas e características construtivas recorrentes em Florianópolis. As características desta edificação foram mantidas em todas as análises, com variação dos valores de dimensões das janelas de cada zona.

O modelo (Figura 3) constitui-se de uma edificação de três pavimentos de uso comercial/serviço com aberturas envidraçadas voltadas para a fachada sul. Cada pavimento corresponde a uma zona independente que possui diferentes influências térmicas. A zona do térreo possui contato direto com o solo, a zona intermediária apresenta-se isolada e a zona cobertura possui a cobertura em contato com o meio externo. Considerando-se as particularidades de cada zona, e excluindo-se as superfícies da fachada sul, todas as demais superfícies foram consideradas adiabáticas, ou seja, não possuem trocas térmicas com o exterior.

O ambiente interno de cada zona possui dimensões de 5m de largura por 5m de profundidade, e pé direito de 3m. As aberturas localizadas na fachada sul abrangem toda a largura da sala e foram simuladas com três diferentes alturas referentes a um WWR (*window wall ratio*) de 20%, 50% e 80%, a fim de se observar a influência da dimensão da janela no desempenho energético da edificação. O WWR é uma relação entre a área da janela e a área da parede, ou seja, refere-se ao percentual de área transparente de uma superfície. Por tratar-se de uma análise referente à reflexão, o modelo de distribuição solar adotado foi de reflexões internas e externas total (*SolarDistribution: FullInteriorAndExteriorWithReflections*), e nenhum valor de refletância foi adotado para o solo no caso base.

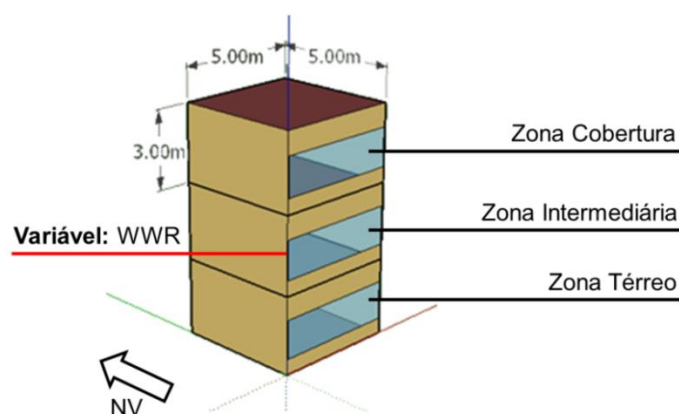


Figura 3: Geometria da edificação de análise.

Os componentes construtivos da edificação, assim como suas características térmicas, podem ser observados na Tabela 1 a seguir e seus valores foram obtidos em Ordenes et al. (2003). A escolha dos mesmos foi baseada a partir da recorrência de sua utilização em edificações comerciais da cidade de Florianópolis.

Tabela 1: Componentes construtivos da edificação de análise.

Tipologia	Composição	Condutividade térmica (W/m K)	Densidade de massa aparente (kg/m ³)	Calor Específico (J/kg K)
Parede	Argamassa de reboco (2,5cm)	1,15	2000	1000
	Tijolo Cerâmico 6 furos (10cm)	0,9	1232	920
	Argamassa de reboco (2,5cm)	1,15	2000	1000
Piso/Laje intermediária	Radier de concreto (10cm)	1,75	2400	1000
	Argamassa de reboco (2,5cm)	1,15	2000	1000
	Piso Cerâmico (1cm)	0,9	1600	920
Cobertura	Telha de fibro-cimento (0,7cm)	0,95	1900	840
	Câmara de ar de alta emissividade	Resistência térmica (m ² -K/W) = 0,21		
	Laje de concreto (20cm)	1,75	2200	1000
Aberturas	Vidro simples (0,6cm)	0,9	-	-

Foram modelados também os ganhos internos referentes a pessoas, atividade realizada, iluminação artificial e equipamentos elétricos, além da taxa de infiltração e um sistema “ideal” de ar condicionado. Os valores inseridos no modelo podem ser observados na Tabela 2 a seguir, e foram obtidos a partir da nova tabela do RTQ-C referente a escritórios, devido à sua adequação às características de uso brasileiras. O padrão de utilização do edifício de segunda a sexta foi de 100% de ocupação entre as 8:00 horas e às 18:00

horas, e de 0% de ocupação nos demais horários e dias da semana, exceto para a taxa de infiltração, que foi mantida em 100% em todos os dias e horários do ano.

Tabela 2: Tabela com parâmetros inseridos no modelo a ser simulado.

Parâmetros do modelo		
Ganhos Internos	Pessoa	12 m ² /pessoa
	Atividade	70 W/m ²
	Iluminação	14,1 W/m ²
	Equipamentos elétricos	9,7 W/m ²
Fluxo de ar	Infiltração	0,5 trocas/hora
HVAC	<i>Ideal load</i>	<i>Set point – 18°C à 24°C</i>

3.3 Definição das análises

O caso base constitui-se da simulação apenas da edificação modelo com as dimensões e características apresentadas no tópico 3, e foi utilizado como parâmetro de comparação dos resultados dos dois demais casos. Devido à variação do WWR entre 20%, 50% e 80% foram realizadas, para este caso, três simulações.

Para o caso A, além da variação da porcentagem de área envidraçada na parede sul (WWR), foram variados os valores de refletância da cobertura do solo em 20%, 50% e 80%, representando respectivamente um material de cor escura (asfalto/preto), de cor média (concreto/cinza) e um de cor clara (areia/branco). A combinação de ambas as variações resultou em mais nove simulações.

Para o caso B foi adicionada à geometria do caso base uma superfície, em frente à fachada sul do edifício, representando uma edificação de entorno. Esta edificação possui 15m de largura por 18m de altura, e está afastada do edifício de análise em 6m (figura 4). Para este caso, além das variações do WWR foram variados também o valor de refletância da superfície da edificação de entorno em 20%, 50% e 80%, representando diferentes cores de fachada entre o preto e o branco, respectivamente. A combinação da variação entre o WWR e a refletância da superfície de entorno resultou em mais nove simulações.

Caso B

Variável: Refletância

Variável: WWR

Zona Cobertura

Zona Intermediária

Zona Térreo

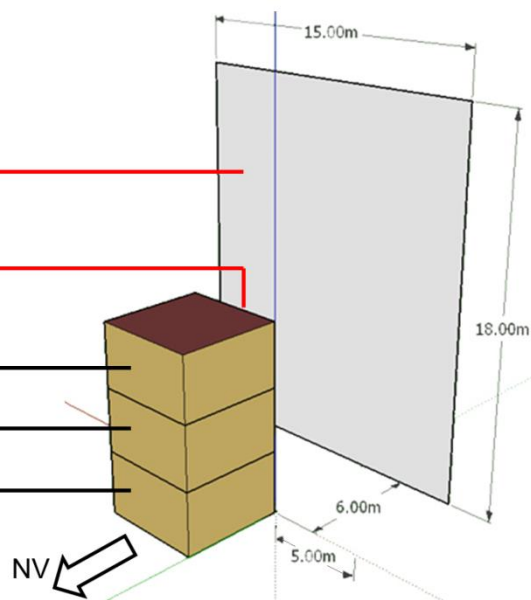


Figura 4: Geometria referente ao caso B (edificação de entorno)

A Figura 5 a seguir representa um esquema que sintetiza os casos analisados, indicando as diferentes variações e a combinação destas em cada caso separadamente.

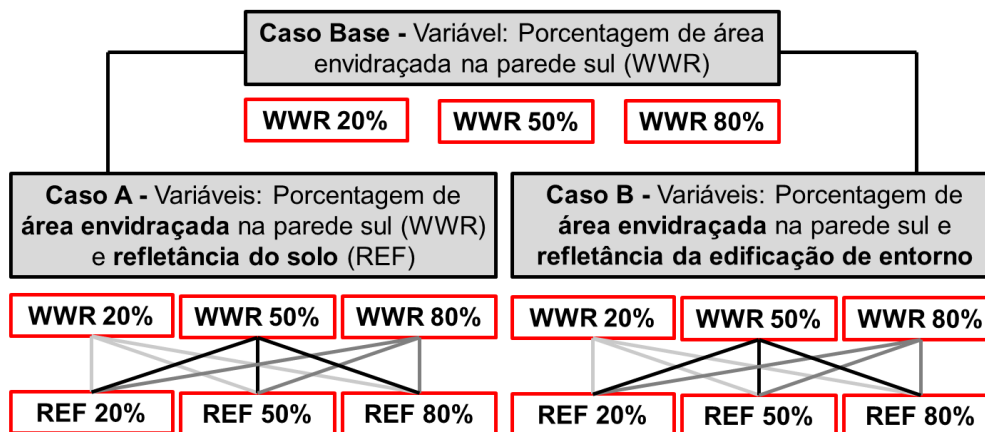


Figura 5: Esquema síntese dos dois casos a serem analisados.

3.4 Simulação termo-energética

A simulação do caso base foi realizada a partir do software *EnergyPlus* v.8.5 que possibilitou a avaliação do desempenho termo-energético do modelo a partir da apresentação das cargas para aquecimento, resfriamento e radiação solar incidente. O modelo foi simulado a partir dos parâmetros referentes ao arquivo climático, geometria, materiais de construção e ganhos internos já apresentados nos tópicos 3.1 e 3.2.

3.5 Simulação Paramétrica

Após a criação de um arquivo base com todas as características referentes ao modelo, a simulação dos casos A e B definidos anteriormente no tópico 4.1, que totalizam 21 diferentes combinações de parâmetros, foram realizadas utilizando o software *JEPlus* v.1.7 que consiste de um gerenciador criado para o software *EnergyPlus* que permite a realização de simulações paramétricas.

A técnica de simulação paramétrica com o poder atual da computação possibilita um maior número de simulações em um menor tempo de simulação, permitindo que o modelador avalie o potencial de inúmeros parâmetros arquitetônicos e urbanos combinados de maneira previamente definidas.

4. RESULTADOS

4.1 Caso A

Os resultados referentes à variação da refletância do solo são analisados a partir da carga anual para aquecimento e carga anual para resfriamento em kWh/m². A Figura 6 a seguir apresenta sequencialmente os resultados gráficos das três zonas analisadas: zona térreo – que possui contato com o solo, zona intermediária – que possui as superfícies adiabáticas (exceto a fachada sul) e zona da cobertura – que possui a cobertura em contato com o meio externo.

Cada gráfico apresenta os resultados, de sua respectiva zona, para três diferentes dimensões de abertura (WWR = 20%, 50% e 80%). Para cada dimensão de abertura apresenta-se o valor obtido no caso base e o valor, respectivamente, para 20%, 50% e 80% de reflexão do solo.

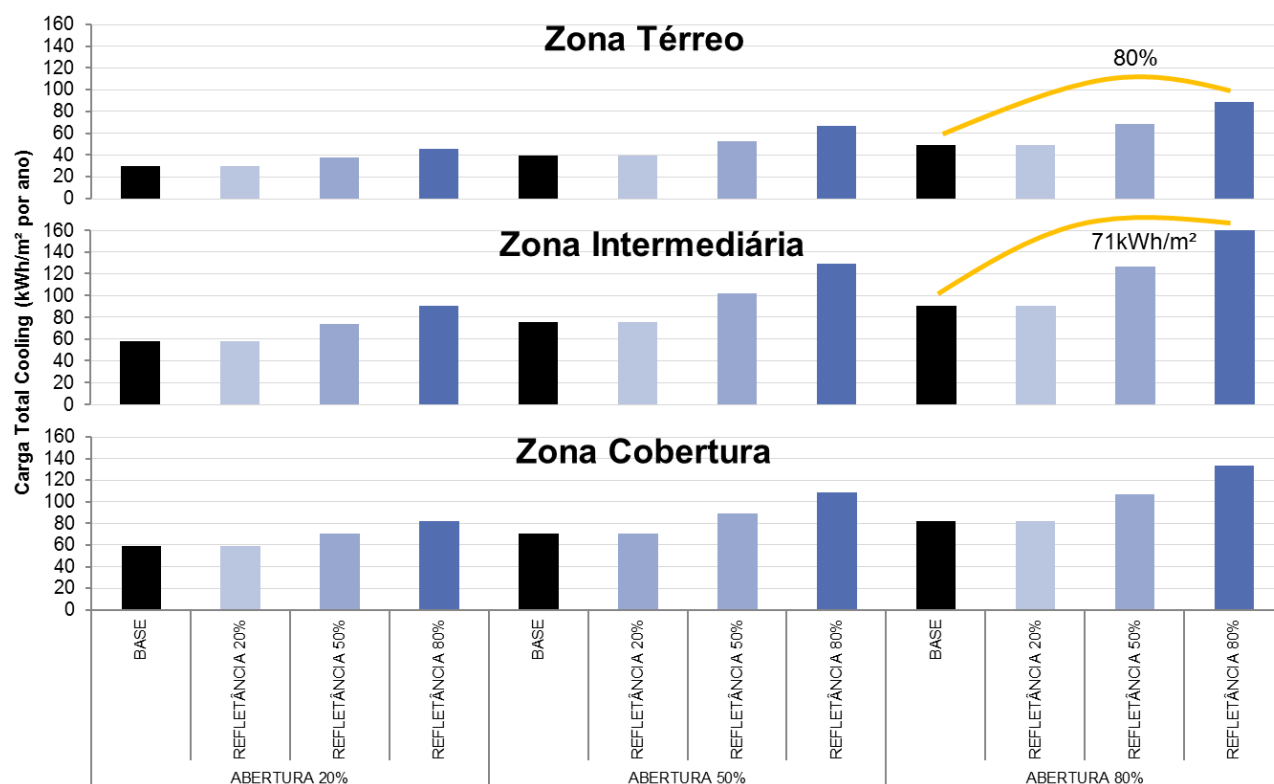


Figura 6: Representação gráfica dos resultados de carga anual do caso base e do caso A referentes à zona térrea, zona intermediária e zona da cobertura consecutivamente.

Primeiramente é importante ressaltar que em todas as zonas a carga de aquecimento mostrou-se insignificante diante da carga para resfriamento, mesmo com as temperaturas do ar externo durante o inverno

abaixo do set point estipulado, possivelmente porque o envelope do edifício foi capaz de manter o ambiente interno em uma temperatura adequada, sem necessidade de grandes cargas de aquecimento.

Os maiores valores de carga foram observados na zona intermediária, apesar da cobertura ser a zona com maior incidência solar e de maior dimensão de superfície em contato com o meio externo. Dessa forma, observa-se que o material escolhido para a cobertura (telha de fibrocimento + câmara de ar de alta emissividade + laje de concreto) atuou como um isolante térmico. Já a zona térrea apresentou resultados significativamente abaixo das demais zonas, devido ao seu contato com o solo. Como a temperatura do solo encontra-se bem abaixo da temperatura do ar o ambiente perde calor para o solo por condução, diminuindo a demanda por resfriamento e aumentando o desempenho energético do ambiente.

Ainda analisando as três zonas conjuntamente é possível observar um padrão crescente de carga total quando se aumenta a dimensão da janela e quando se aumenta a valor de reflexão do solo, sendo que quanto maior a abertura, maior a diferença dos valores de carga entre a menor (20%) e a maior (80%) refletância do solo. Por exemplo, na zona da cobertura a diferença da carga entre a refletância de 20% e 80% é de 20 kWh/m² por ano para a abertura de 20%. Já para a abertura de 80% essa diferença alcança mais de 50 kWh/m² por ano.

Comparando-se o aumento da carga devido ao aumento dos valores de reflexão do solo observa-se, como já mencionado, o maior aumento na abertura de 80%. Em termos absolutos, para essa dimensão de abertura, a maior diferença absoluta entre as cargas para refletância de 20% e 80% é encontrada na zona intermediária, onde esse valor alcança 71 kWh/m² ao ano. Porém, em relação aos valores relativos o maior aumento ocorre na zona térrea, alcançando 80%. Dessa forma, é importante ressaltar que o aumento da refletância do solo produz alterações significativas no desempenho energético do ambiente mesmo nos casos de menor carga anual.

Ao comparar os valores do caso base (em preto) com os demais resultados fica clara a grande influência da alteração da refletância do solo nas demandas de carga de todas as zonas, sobressaindo-se em importância a variação da dimensão da janela. Isso porque quando se compara a diferença entre os valores do caso base para a abertura de 20% e de 80% em uma zona, seu crescimento é de no máximo 30 kWh/m² ao ano, porém a diferença entre a abertura de 20% e 80% para cada refletância analisada pode alcançar até 71 kWh/m² ao ano.

Somado a isso se observa que todos os resultados referentes ao caso base são iguais aos valores com 20% de refletância, indicando este como o valor de default para as simulações do *software EnergyPlus* que não determinam qual o valor da refletância do solo do local onde a edificação está situada.

Dessa forma, os resultados demonstram a necessidade da adoção do valor de refletância do solo correta para uma predição precisa da carga necessária para cada ambiente, diante da discrepância entre o valor adotado como default pelo programa de simulação e alguns possíveis valores de refletância reais, que poderão variar de acordo com o entorno de cada edificação.

4.2 Caso B

Os resultados referentes à existência de uma edificação de entorno com variação da refletância da mesma são analisados a partir da carga anual para aquecimento/resfriamento e da radiação solar incidente nas janelas. Assim como no caso solo a carga anual para aquecimento e carga anual para resfriamento em kWh/m² são apresentadas sequencialmente a partir de gráficos das três zonas analisadas (zona térrea, zona e zona da cobertura) na Figura 7. Cada gráfico apresenta os resultados para três diferentes dimensões de abertura (WWR = 20%, 50% e 80%). Para cada dimensão de abertura apresenta-se o valor obtido no caso base e o valor, respectivamente, para 20%, 50% e 80% de refletância do material de superfície do edifício de entorno.

Assim como no caso solo, os valores aqui apresentados de carga por aquecimento mostraram-se insignificantes diante dos valores de carga por resfriamento. Além disso, os resultados referentes ao caso edificação de entorno também apontaram a zona intermediária com as maiores cargas, confirmando o isolamento térmico promovido pela coberta na zona cobertura, e a zona térrea com valores de carga significativamente abaixo das demais zonas, devido ao contato com o solo.

Observou-se também o aumento da carga total com o aumento da dimensão da janela e o aumento da reflexão do edifício de entorno. Porém, diferentemente do caso solo, o valor do caso base não apresentou os menores valores. De forma geral os resultados do caso base mantiveram-se sempre mais próximos aos resultados de 50% de refletância, indicando que, a depender da refletância das edificações de entorno, o desempenho energético do edifício pode melhorar ou piorar. Constatou-se que quanto mais clara a cor das fachadas dos edifícios de entorno, maior sua refletância e maior o ganho de calor do edifício vizinho e conseqüentemente será necessária maior carga de resfriamento para manter a temperatura ideal do ambiente.

Porém é importante ressaltar que as cores escuras, de baixa refletância, podem acarretar em um grande ganho de temperatura para a própria edificação, o que implica um impasse entre as estratégias bioclimáticas apontadas para a edificação daquelas apontadas para o meio urbano de uma forma geral.

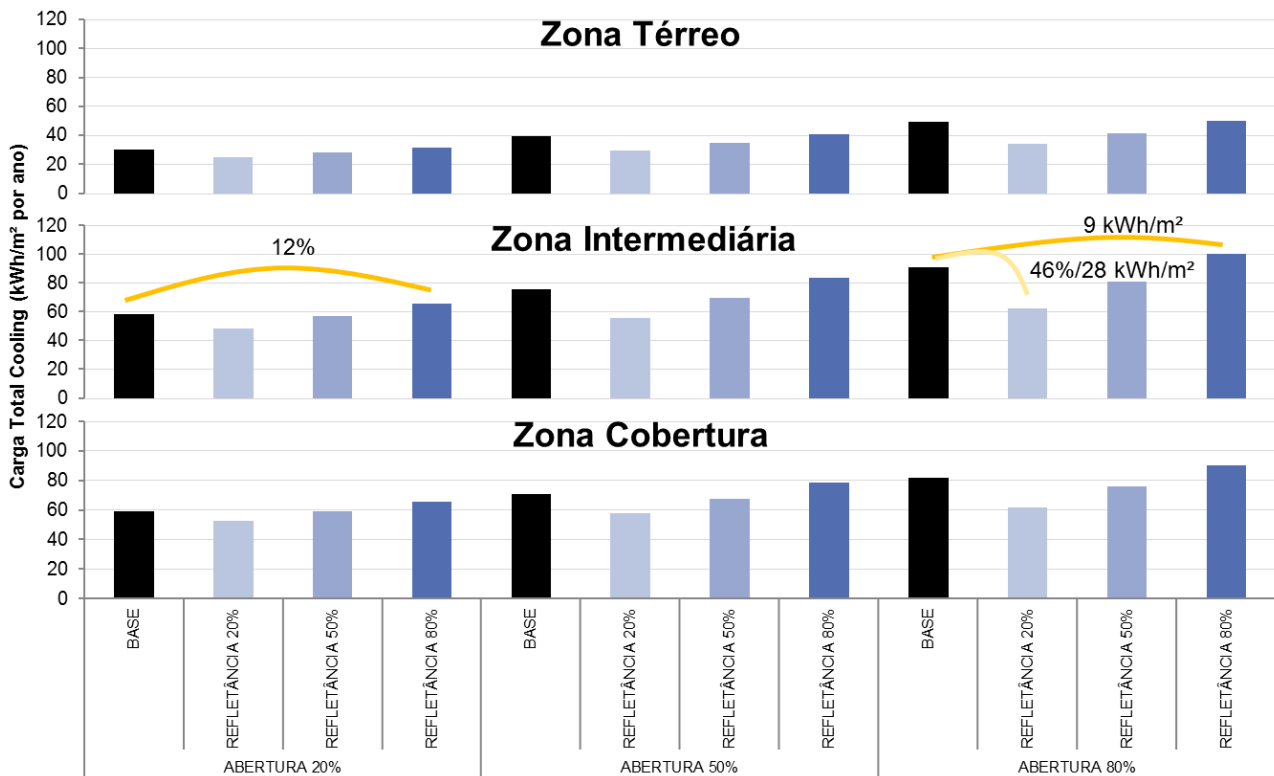


Figura 7: Representação gráfica dos resultados de carga anual do caso base e do caso B referentes à zona térrea, zona intermediária e zona da cobertura consecutivamente.

No caso edificação de entorno foi possível observar que as maiores diferenças entre o caso base e o mesmo foram encontradas na zona intermediária. O maior aumento de carga em termos absolutos foi observado para a abertura de 80% e refletância de 80%, alcançando 7 kWh/m² ao ano, já em termos relativos observou-se um aumento de 12% para a abertura de 20% e refletância de 80%. Porém a diferença mais significativa deste caso foi em relação à diminuição da carga, na abertura de 80%, em relação a 20% de refletância. Esse valor diminuiu em 27 kWh/m² ao ano, ou 46% em termos relativos.

Dessa forma, atenua-se a necessidade da inserção do contexto urbano e de suas principais características nas simulações de energia visando uma previsão mais coerente com consumo de energia das edificações, que não mais devem ser consideradas de forma isolada diante da crescente urbanização e adensamento urbano, que provocam alterações significativas na carga energética dos mesmos.

Os resultados demonstraram ainda a importância da radiação solar difusa para os valores de carga total da edificação. Isso porque quando a refletância do edifício vizinho era baixa sua carga apresentava-se menor que o caso base, devido ao cobrimento parcial da abobada celeste pela edificação de entorno.

Para o melhor entendimento do fenômeno da reflexão solar proveniente de um edifício de entorno foi proposta uma análise da radiação solar incidente em uma superfície - no caso a abertura voltada para a fachada sul por ser a principal superfície que fornece calor para o ambiente - comparando-se os resultados do caso base e do caso da edificação de entorno. Para tanto, o valor da radiação solar incidente foi apresentado ainda de forma detalhada entre suas seis componentes: a radiação solar direta do sol (1), difusa do céu (2), direta refletida da edificação de entorno (3), difusa refletida da edificação de entorno (4), direta refletida do solo (5) e difusa refletida do solo (6). A Figura 8 demonstra o caminho percorrido por cada uma destas radiações, realçadas na cor vermelha as referentes à radiação direta e em azul as referentes à radiação difusa. A soma das mesmas resulta na radiação solar total incidente.

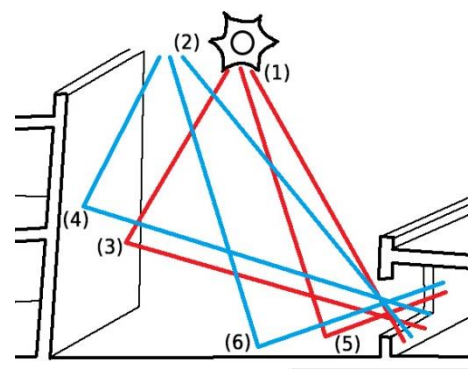


Figura 8: Representação gráfica dos seis tipos de radiação que compõem a radiação solar total incidente em uma superfície.

Para esta análise apresentam-se na Figura 9 abaixo os resultados de radiação solar incidente em W/m^2 ao ano da janela da zona intermediária com WWR de 50%. Apresenta-se primeiro o valor da radiação solar total incidente, tanto para o caso base (em preto) quanto para o caso com edificação de entorno com refletância de 80% (em amarelo), e em seguida demonstra-se esse valor fragmentado em seus seis possíveis componentes demonstrados anteriormente na Figura 8.

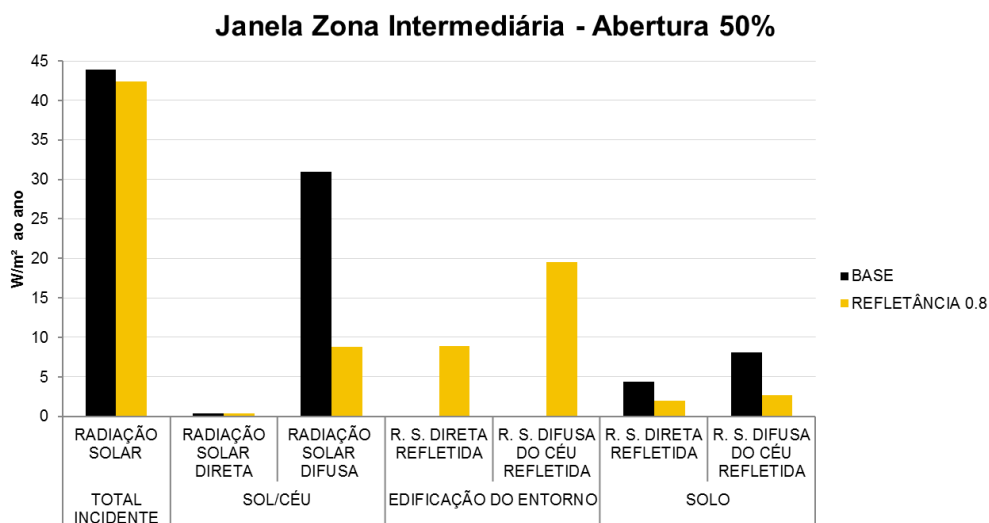


Figura 9: Representação gráfica dos resultados de radiação solar incidente em uma superfície.

Os dois casos apresentados foram escolhidos por possuírem valores bem próximos de radiação solar total incidente, para que fosse possível observar as principais diferenças relativas ao percurso desta radiação até atingir a superfície da janela.

No caso base, que não possui edificação de entorno, a principal fonte de radiação concentra-se na radiação difusa, o que já era esperado devido à localização da abertura ser na fachada sul que não recebe radiação direta durante praticamente todo o ano. A principal contribuição (em torno de 70%) foi referente à radiação solar difusa do céu, também já esperado, pois sem obstruções no entorno a janela “vê” metade de toda abóbada celeste, que possui uma grande contribuição na radiação solar. O restante da radiação solar incidente foi basicamente derivado da reflexão proveniente do solo, tanto difusa quanto direta.

Já no caso com edificação de entorno foi possível observar a grande influência da radiação refletida da edificação de entorno, alcançando 66% do total, sendo 44% referente à radiação difusa refletida e 21% referente à radiação direta refletida. Ainda com a grande obstrução da abóbada celeste pelo entorno edificado, observa-se uma contribuição significativa de 21% da radiação solar difusa do céu no total da radiação solar incidente.

Os resultados demonstram a grande diferença entre o percurso da radiação solar entre uma simulação que não leva em conta o entorno urbano de uma simulação que agrega os componentes do entorno urbano. A partir da modificação dos valores de refletância tanto do solo quanto da edificação de entorno, e da presença ou não de obstruções do contexto urbano os valores da radiação solar podem modificar significativamente, descaracterizando os resultados obtidos quando se analisa um edifício que se localiza dentro do contexto urbano sem considerar o mesmo nas simulações.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho mostra o impacto da adoção de diferentes valores de refletância para os elementos urbanos a partir de simulações computacionais com o *software EnergyPlus* e seu gerenciador de simulações paramétricas *JEPlus*. A partir da análise dos resultados ficou evidente a necessidade da inserção das características particulares de cada entorno urbano, sejam elas referentes ao seu valor de refletância ou a existência de obstrução do entorno, para uma previsão precisa da demanda de carga energética da edificação.

De modo geral, em relação às três diferentes zonas analisadas em ambos os casos a zona térreo demonstrou que o contato com o solo possui grande influência na diminuição da carga para resfriamento, sem aumentar significativamente a de aquecimento, a zona intermediária caracterizada por possuir todas as superfícies adiabáticas (exceto sul), foi a que apresentou a maior carga tanto no caso solo como no caso edificação de entorno e a zona cobertura que se esperava que possuísse, entre as zonas, as cargas mais elevadas devido à influência da coberta voltada para o exterior, apresentou resultados um pouco abaixo zona intermediária, levando a acreditar que a cobertura possa ter agido como um isolante térmico.

Em relação especificamente ao caso A, que analisou a refletância do solo, observou-se que o programa *EnergyPlus* utiliza como default o valor de 0.2 para a refletância do solo. A partir do aumento de até 80% dos valores da carga total nos resultados para as refletâncias de 0.5 e 0.8 em relação ao default utilizado no programa ressalta-se a importância da adoção da refletância real do solo de cada caso para uma previsão coerente de energia.

Em relação ao caso B, referente ao edifício de entorno, diferentemente da hipótese inicial, observou-se que o caso base apresentou cargas sempre superiores (até 46%) aos casos com refletância de 20% e 50% do edifício de entorno. Em relação ao caso com refletância de 80% houve um aumento de carga de resfriamento em relação ao caso base de até 12%. Esses resultados demonstraram que a existência de obstrução no entorno na simulação tanto pode minimizar como pode aumentar o consumo energético da edificação, a depender da refletância do objeto de entorno. Já observando a radiação solar incidente foi possível entender a grande influência da radiação solar difusa tanto diretamente do céu, como refletida pelo solo ou superfície do entorno, chegando nesse caso a ser maior que a direta refletida.

É importante salientar que apesar da contribuição inicial em relação ao impacto energético da reflexão solar proveniente de elementos do contexto urbano, o artigo possui algumas limitações como a análise apenas de uma orientação (sul), análise de apenas um contexto climático (Florianópolis) e a desconsideração do microclima criado pela formação do cânion (aumento da temperatura e diminuição da velocidade do vento).

REFERÊNCIAS

- ALLEGRI, J.; DORER, V.; CARMELIET, J. Influence of the urban microclimate in street canyons on the energy demand for space cooling and heating of buildings. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 823–832, 2012.
- ASHRAE 55 (2013). **Thermal environmental conditions for human occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2013.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Dep. Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília, DNMET, 1992. 84p.
- CARVALHO, E. Brazilian towns, growth and social inequalities. **Revista ORG & DEMO** (Marília), n. 3, p. 45-54, 2002.
- ENERGYPLUS. Versão 8-6. **Input/Output Reference**, 2016.
- HAN, Y.; TAYLOR, J. E.; PISELLO, A. L. Exploring mutual shading and mutual reflection inter-building effects on building energy performance. **Applied Energy**, 2015.
- IEA. International Energy Agency. Energy Efficiency; 2013.
- INMET. **Arquivos climáticos INMET 2016**. Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acessado em 15/10/2016.
- KOPPEN, W. **Das geographisches system der klimate**. In W. Köpper & W. Geiger (eds.), *Handbuch der klimatologie*. Berlin, Teil. C. Ebr. Bornträger, 44p. 1936.
- MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; e LAMBERTS, R. Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto ground domain no programa energyplus. **Relatório LabEEE**, 2015.
- ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E. e LAMBERTS, R. Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no visualdoe-3.1. **Relatório LabEEE**, 2003.
- PISELLO, A. L. et al. Inter-building effect: Simulating the impact of a network of buildings on the accuracy of building energy performance predictions. **Building and Environment**, v. 58, p. 37–45, 2012.
- ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. 226p.
- SAMUELSON, H. et al. Parametric energy simulation in early design: High-rise residential buildings in urban contexts. **Building and Environment**, v. 101, p. 19–31, 15 maio 2016.
- UN DESA. World Urbanization Prospects, the 2011 Revision, United Nations; 2011.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro.