

Avaliação de Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Habitação em Condomínio Residencial de Cuiabá/MT

Evaluation of Thermal Performance and Energy Efficiency in Housing in Residential Condominium from Cuiabá/MT

Laís Braga Caneppele¹, Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira²

¹UFMT - Mestre do Programa de Pós-Graduação de Engenharia e Edificações Ambientais.

²UFMT - Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação de Engenharia e Edificações Ambientais. Departamento de Arquitetura e Urbanismo.

Resumo

Este artigo determina o desempenho térmico e o nível de eficiência energética de uma habitação de Cuiabá/MT de um condomínio residencial, localizado em uma região em evolução urbana. A edificação de estudo possui área de ocupação de 57m² e é composta por paredes de painéis pré-moldados, laje de contrapiso sobre o solo aterrado, forro de laje e cobertura de estrutura metálica com telhas cerâmicas. Os períodos de medição foram de 28/06/13 a 12/07/13 (quente seco) e de 30/12/13 a 14/01/14 (quente úmido). Para o registro dos dados externos e internos, foram utilizados estação Micrometeorológica e conjuntos de HOBO U12-012 com cabo TMC20HD e esfera acoplada. Para a avaliação do desempenho térmico e eficiência energética considerou-se os métodos de medição e simplificado da NBR15575 e o método de simulação do RTQ-R. O EnergyPlus (8.1.0) foi utilizado para as simulações termoenergéticas. A sala de estar possui o pior desempenho e o quarto de casal o melhor. Pelo método da medição, obtiveram-se níveis superiores para o quarto de casal e home office e intermediário para a sala de estar. Pelo método simplificado, as paredes apresentaram nível mínimo e a cobertura não atendeu ao critério. A edificação obteve nível C de eficiência energética.

Palavras-chaves: RTQ-R, calibração, EnergyPlus.

Abstract

This article determines the level of thermal performance and energy efficiency of a Cuiabá/MT housing of a residential condominium, located in a region in urban evolution. The study building has 57m² and consists of walls of precast panels, slab subfloor on grounded soil liner and cover slab of metal frame with ceramic tiles. Measurement periods were 06/28/13 to 07/12/13 (hot dry) and from 12/30/13 to 01/14/14 (hot and humid). To record external and internal data, micrometeorological station and sets HOBO U12-012 with TMC20HD cable and sphere were used. For the evaluation of the thermal performance and energy efficiency was considered the methods of measurement and simplified by NBR15575 and the simulation method by RTQ-R. The EnergyPlus (8.1.0) was used for the thermal energy simulations. The living room has the worst performance and the double room the best. By the measurement method yielded higher levels for the bedroom and home office and intermediary for the living room. The simplified method, the walls had minimum coverage and didn't meet the criteria. The building got C-level for energy efficiency.

Keywords: RTQ-R, calibration, EnergyPlus.

1 INTRODUÇÃO

O uso energético está relacionado ao desenvolvimento econômico e o crescimento populacional, pois com a melhora das condições de vida eleva a um estilo de vida de maior consumo. Esta relação em um sistema linear de uso de energia, sem que ocorram medidas intervencionistas, se direciona para o esgotamento dos recursos naturais de combustíveis fósseis e a um grande impacto ambiental.

Desta forma, alguns países, produtores de petróleo, detêm o poder de controlar o desenvolvimento econômico mundial. Devido às políticas internas destes países ocorreram as crises do petróleo de 1973 e 1979.

No entanto, mudar a matriz energética não é a solução definitiva para o problema. É necessário fortalecer os conceitos de sustentabilidade e eficiência energética. Assim como Sachs (2007) afirma que a energia que menos polui e que geralmente menos custa é aquela que deixa de ser produzida, graças à adoção de um perfil mais racional de demanda energética e à maior eficiência no uso final das energias produzidas. Portanto, é preciso uma revolução no estilo de vida das pessoas para um consumo energético de maneira eficiente, evitando o desperdício dos recursos naturais, na geração e manutenção, considerando que este consumo não é apenas financeiro, mas ambiental.

No ano de 1984, iniciaram-se discussões para a racionalização energética, com o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), criado pelo Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade (INMETRO). Em 2001, foi decretada a Lei de Eficiência Energética (Lei nº 10.295) que determina ao Poder Executivo o estabelecimento de níveis máximos de consumos e mínimos de eficiência para máquinas e aparelhos fabricados no Brasil. Neste caminho, em 2003 e 2008, foram publicadas as NBR15220 e NBR15575, normas de Desempenho térmico de Edificações, que determinam diretrizes construtivas para um melhor desempenho e critérios para avaliação. Já em 2009 e 2010, foram aprovados o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e para Edificações Residenciais (RTQ-C e RTQ-R) respectivamente, nos quais são definidos os níveis de classificação e os procedimentos de avaliação da eficiência energética dos edifícios.

A cidade de Cuiabá se configura por uma malha urbana espalhada, dispersa. Este processo foi desencadeado pelos interesses econômicos particulares de valorização de terras rurais, assim que passaram a pertencer ao perímetro urbano. Desta forma, a atual forma de produção urbana cuiabana consiste na construção de grandes empreendimentos imobiliários, composto por edificações construídas em série em um processo de otimização do tempo e dos materiais, reduzindo os custos de implementação. No entanto, como será o desempenho térmico e o consumo energético destas edificações?

O desempenho térmico representa o resultado final do comportamento da edificação em um dos sistemas como o térmico. O comportamento é definido de acordo com a resposta física de uma variável, o qual, a ser comparado a parâmetros estabelecidos que considerem as condições para o conforto térmico necessário, se resume em uma avaliação (BORGES, 2008; MIRANDA, 2011; LAMBERTS, 2010).

A eficiência energética é a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia. Por isso, um edifício é mais eficiente quando apresenta redução do consumo energético decorrente a ações diversificadas e mantendo as condições básicas de conforto (LAMBERTS, 1997).

Portanto, o objetivo deste artigo é determinar o nível de eficiência energética de uma habitação de Cuiabá/MT, pertencente a um condomínio residencial, localizado em uma região de grande evolução urbana, próximo ao limite do perímetro urbano.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Edificação residencial

No condomínio residencial a edificação escolhida está localizada no final da quadra. Ao considerar o desempenho térmico e a eficiência energética, esta residência, entre as demais, se configura em uma situação mais desfavorável. Isso ocorre, pois a maioria das edificações é geminada em ambos os lados, o que contribui para a diminuição da radiação direta nas paredes da divisa, no entanto a edificação de estudo recebe radiação em uma lateral durante a manhã e parte da tarde (Figura 01). Desta forma os resultados das avaliações obtidos por esta edificação poderá ser inferior nas demais.



Figura 01 – Edificação recebendo radiação direta em uma lateral

A edificação de estudo possui área de ocupação de 57m^2 , sendo dividido sala de estar/sala de TV, cozinha, *home office*, dois banheiros e suíte. Para o estudo foram definidas seis zonas térmicas delimitadas pelas paredes, sendo analisadas apenas as zonas de permanência prolongada (Figura 02).

O sistema construtivo das edificações do loteamento consiste na montagem de painéis estruturais pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos. Desta forma, os painéis pré-fabricados possuem 11cm de espessura e são compostos por tijolos de oito furos quadrados, com 9cm de espessura e reboco. A estrutura deles é composta por treliças metálicas formando um quadro estrutural externo e por nervuras de barras de aço distribuídas no interior dos painéis.



Figura 02 – Zonas térmicas da edificação de estudo

No sistema construtivo em estudo, a edificação é composta por paredes de painéis pré-moldados, laje de contrapiso sobre o solo aterrado, forro de laje e cobertura de estrutura metálica com telhas cerâmicas. O componente construtivo de divisa é composto por paredes duplas para reduzir o ruído entre as residências vizinhas. Por isso, a edificação de estudo, que só faz divisa em um lateral, só possui parede dupla em um lado. Na Tabela 01, são apresentadas as transmitâncias térmicas para os componentes da envoltória.

Tabela 01 – Transmitância térmica dos componentes da envoltória

Envoltória	Composição	α	W/(m ² .K)	kJ/(m ² K)
Parede	Argamassa + Pannel + Argamassa	0,30	2,792	158*
Parede de divisa	Argama. + Pannel + Argam. + Pannel + Argam.	0,30	1,820	316*
Piso	Laje + Azulejo	0,20	3,499	240*
Cobertura	Telha Cerâmica + Ar +Laje	0,75	1,92*	113*

* Estes dados foram retirados da NBR15220 (2008) referente a um componente semelhante, a cobertura no modelo do programa este elemento foi construído como uma zona térmica e o valor de transmitância total não foi calculado.

Um casal são os usuários da edificação de estudo, os quais possuem rotina de trabalho diário, por isso ocorre pouca utilização durante o período diurno. Mas aos finais de semana aumenta-se o uso.

Segundo as recomendações ABNT (2013), os ambientes considerados para a avaliação são os dormitórios e as salas, ou seja, ambientes de permanência prolongada. Portanto, para a avaliação do desempenho térmico e eficiência energética são consideradas principalmente três zonas: da sala de estar, home office e quarto do casal.

2.2 Períodos de medição

Para a análise dos resultados foram utilizados dados horários de dois períodos de medições: de 28/06/13 a 12/07/13 relacionado ao clima quente seco e de 30/12/13 a 14/01/14, clima quente úmido. Os períodos foram definidos considerando a definição destas duas variações do clima, as quais requerem soluções arquitetônicas diferenciadas (MACHADO, 2012; LEÃO, 2007).

2.3 Variáveis microclimáticas

Para o registro dos dados do microclima local, foi utilizada uma estação Micrometeorológica composta pelo Conjunto de Sensores Integrados (ISS) modelo VantagePro2, instalada há 2m de altura do solo e afastadas de obstáculos que possam mascarar os valores obtidos. O equipamento contém termômetro; barômetro; higrômetro; anemômetro; biruta; piranômetro; heliógrafo e pluviômetro que coletam os dados do tempo e os enviam para o console instalado no interior da edificação. Os dados armazenados são capturados para o computador por um cabo RS232/USB e analisados com a ajuda de um software, WeatherLink5.7 (Figuras 03 e 04).



Figura 03 – Instalação da Estação



Figura 04 – Estação micrometeorológica

As variáveis externas obtidas nestas medições foram usadas para caracterização do microclima local nos dois períodos, além de serem usadas para a comparação com as variáveis internas e para a calibração da simulação realizada como o EnergyPlus. As variáveis utilizadas foram: temperatura média, máxima e mínima, temperatura de bulbo úmido (estimada a partir da temperatura de ponto de orvalho), umidade relativa, velocidade e direção do vento, precipitação pluviométrica e radiação solar.

Para a determinação da temperatura média mensal do solo foi utilizado o cabo TMC20HD conectado ao canal externo do registrador HOBO U12-012. Para isso, cavou-se um buraco retirando as camadas do solo e recolocando-as na ordem correta até atingir a profundidade de 60cm, onde ficou instalada a ponta do cabo com sensor de temperatura. A temperatura do solo a partir de uma profundidade, dependendo das características de cada solo, não sofre alterações devido à alta inércia térmica. Por isso, podem ser considerados como os valores obtidos sob a edificação, necessários para inserir no programa de simulação (Figuras 05 e 06).



Figura 05 – Cabo TMC20HD encapado



Figura 06 – Instalação do Cabo TMC20HD

2.4 Variáveis internas

Os conjuntos de HOBO U12-012 com cabo TMC20HD, o qual possui uma esfera preta fosca que engloba o sensor. Estas estações permitem os registros internos de temperatura, umidade relativa e temperatura de globo. Elas foram instaladas no centro dos recintos, quando foi possível (sala de estar), a 1,20 m do piso, assim como recomendado pela norma de desempenho térmico (ABNT, 2013) (Figuras 07 e 08).



Figura 07 – Registrador HOBO U12-012



Figura 08 – Instalação do cabo com globo

2.5 Avaliação do desempenho térmico (NBR15575)

Para a avaliação do desempenho térmico foram considerados os métodos de medição e simplificado de acordo com a NBR15575 (ABNT, 2013). O método da medição consiste na comparação dos resultados das temperaturas máximas internas e externas, podendo obter classificação “M”, “I” e “S”, respectivamente mínima, intermediária e superior. O método pelo procedimento simplificado compara alguns parâmetros da envoltória, como transmitância térmica e capacidade térmica das paredes, áreas mínimas de abertura em relação a área do piso e transmitância térmica da cobertura, podendo obter classificação mínima.

2.6 Determinação do nível de eficiência (RTQ-R)

Para a definição do nível de eficiência energética foi adotado o método de simulação do RTQ-R (BRASIL, 2012), podendo classificar edifícios de acordo com cinco níveis: de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente).

O método consiste na avaliação geral de dois sistemas: envoltória e aquecimento de água, mais as bonificações que avalia em menor peso outros sistemas. A seguir, é apresentada a fórmula para a determinação da pontuação final da classificação:

$$PT_{UH} = a \times EqNumEnv + (1 - a) \times EqNumAA + Bonif *$$

PT_{UH} : pontuação total do nível de eficiência da unidade hab.;

a : coeficiente de acordo com a região geográfica;

$EqNumEnv$: equivalente numérico da envoltória;

$EqNumAA$: equivalente numérico do aquecimento de água;

$Bonif$: pontuação atribuída a iniciativas para a eficiência. * os parênteses do termo “ $(1 - a)(1 - a)$ ” foram adaptados

O equivalente numérico da envoltória ($EqNumEnv$) é definido de acordo com a somatória de graus-hora da temperatura operativa fora do limite máximo de 26°C. O equivalente numérico do sistema de aquecimento de água ($EqNumAA$) é definido de acordo com ao atendimento de pré-requisitos definidos pelo regulamento. Ambos os equivalentes numéricos podem variar de 1 a 5, sendo que quando não existir a instalação de sistema de aquecimento de água em uma edificação da região centro-oeste, será considerado o valor mínimo 1. Nas bonificações são considerados os sistemas de ventilação e iluminação natural, uso racional de água, condicionamento de ar, iluminação artificial, instalação de ventiladores e refrigeradores e medição individualizada, podendo obter pontuação máxima de 1 ponto. De acordo com a somatória final dos pontos é definido o nível de eficiência compatível em letra.

2.7 Simulação computacional

O programa utilizado para realizar as simulações termoenergéticas para a definição de nível energético proposto pelo RTQ-R deve atender aos pré-requisitos especificados no regulamento. Por isso, para a modelagem da edificação foi utilizado o Plug-in OpenStudio (versão 1.0.11) e os programas SketchUp Pro (versão 8) e EnergyPlus (versão 8.1.0), o qual está de acordo com as exigências.

Para a análise do resultado final, os dados de temperatura operativa simulados foram comparados aos dados medidos. Este processo foi necessário para realizar a calibração dos dados simulados, tendo em vista a complexidade da construção do modelo, que pode estar associado a erros na interpretação e inserção das informações necessárias. Para isso, é necessário alterar o arquivo climático padrão com dados simultâneos aos medidos internamente.

A construção dos ambientes consiste em seis zonas térmicas mais as zonas da cobertura, mas apenas as de permanência prolongada foram analisadas e utilizadas para a classificação do nível energético: home office, sala e quarto do casal. As paredes que fazem divisa com a edificação vizinha

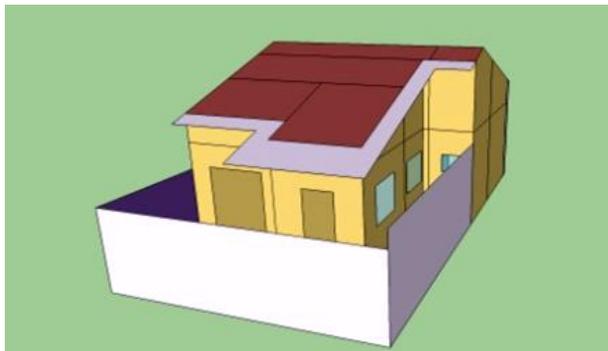


Figura 09 – Instalação do cabo com globo



Figura 10 – Maquete da vista dos fundos

foram consideradas com trocas com ambiente externo, mas sem considerar a exposição ao vento e ao sol. Os muros e beirais foram construídos como elementos de proteção solar e não apresentam resistência térmica, apenas provocam o sombreamento da edificação (Figuras 09 e 10).

Devido a limitações do programa a cobertura geral deve ser particionada. Por isso, as paredes internas, criadas para delimitar as zonas da cobertura, apresentam baixa resistência térmica se aproximando a situação real, em que não existem paredes (Figura 11).

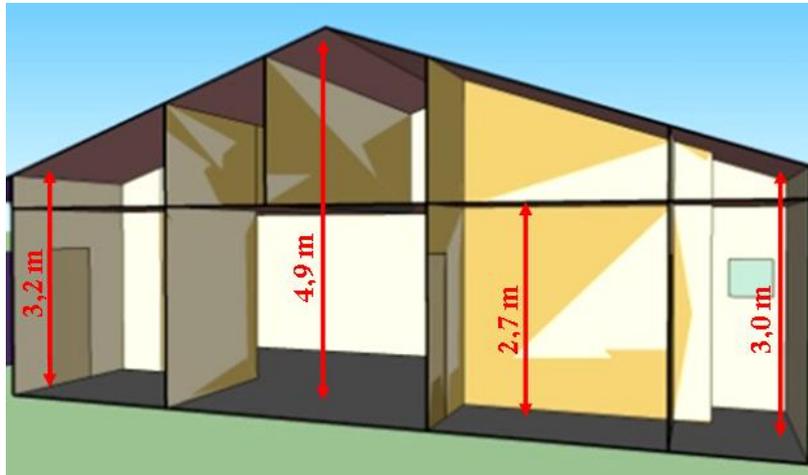


Figura 11 – Maquete eletrônica com corte longitudinal

Para sistemas de uso e ocupação, funcionamento de aberturas, iluminação e equipamentos eletrônicos e ventilação natural, foram simuladas de acordo com recomendação do RTQ-R, o qual apresenta cronogramas de pessoas, temperatura para funcionamento de aberturas, densidade de iluminação e equipamentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização dos períodos

Ao relacionar os períodos definidos de medição ao climograma de normais climatológicas de 1961-1990 de Cuiabá-MT, verifica-se que o período de 28/06/13 a 12/07/13 foi condizente aos meses extremos de baixa temperatura máxima do ar e umidade relativa. Enquanto o período de medições de 30/12/13 a 14/01/14 foi condizente aos extremos de volumes maiores de precipitações de água (Figura 12).

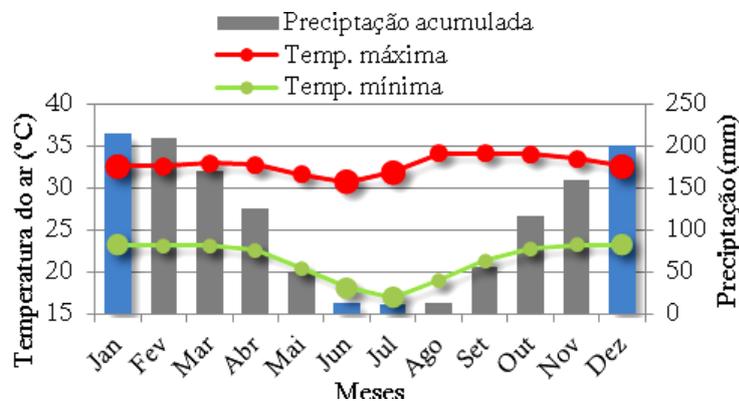


Figura 12 – Maquete da vista dos fundos

Fonte: INMET

3.1.1 Período Quente Seco – externo

Entre os 15 dias do período de medição quente seco, verificou-se que os valores de temperaturas médias diárias tiveram maior frequência em 26°C, as temperaturas máximas diárias em 35°C e as mínimas em 18°C. No entanto, verifica-se a queda da temperatura máxima e elevação da temperatura mínima em alguns dias (01, 02 e 09/07/2013) diferente dos valores dos demais dias do período (Figura 13).

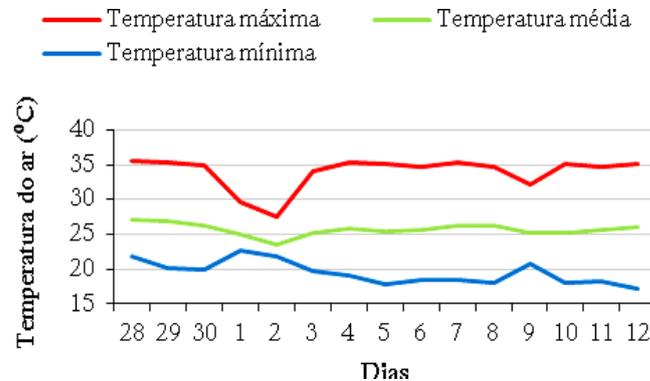


Figura 13 – Médias diárias da temperatura máxima, média e mínima, quente seco de 28/06/13 a 12/07/13

Ao analisar os valores de médias horárias para o período, notou-se a permanência de amplitude térmica de 16°C entre as temperaturas máximas e mínimas. No dia 7, ocorreu um aumento incomum de temperatura entre às 21h e às 22h, que pode ser de alguma interferência externa que sensibilizou o sensor de temperatura (Figura 14). Nos dias 01 e 02/07, em menor proporção que no dia 09/07, ocorre uma queda dos picos de temperatura em mais de 5°C.

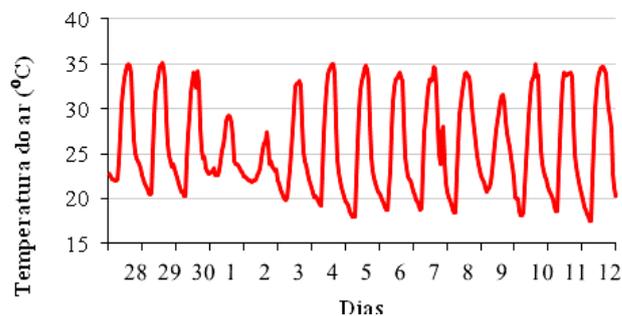


Figura 14 – Médias horárias da temperatura do ar, quente seco de 28/06/13 a 12/07/13

Este período de medição foi marcado com baixas umidades relativas durante o dia, nos picos noturnos a umidade relativa atinge 90%, enquanto durante o dia chega a 32% (Figura 15). Verifica-se uma grande amplitude da umidade e poucas precipitações pluviométricas, apenas no entardecer do dia 01/07 com 10,4 mm.

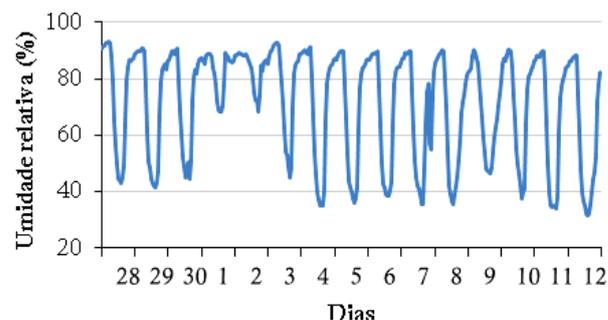


Figura 15 – Médias horárias de umidade relativa do ar, quente seco de 28/06/13 a 12/07/13

A velocidade do vento analisada sofre perdas de velocidade e desvios, devido à rugosidade do terreno na altura e local que foi instalada. Mesmo assim, verifica-se uma similaridade de ocorrência do vento na maioria dos dias, nos quais são registrados valores (independente da velocidade) entre 9h e 17h (Figura 16).

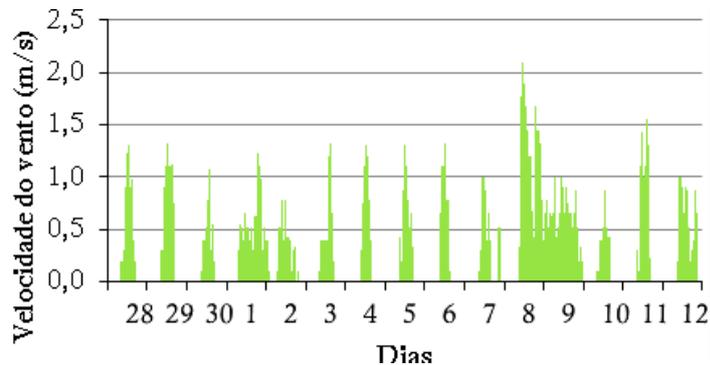


Figura 16 – Médias horárias de velocidade do ar, quente seco de 28/06/13 a 12/07/13

Nos dias 1, 2, 8 e 9, os registros de velocidade se mantêm entre mais horas dos dias. Isso pode estar ligado à aproximação de massas de ar úmido com menores temperaturas e mais úmidas, alterando as pressões e influenciando na maior movimentação de ar, considerando a queda dos picos máximos de temperatura e mínimos de umidade relativa.

Ao comparar os dados do local com os dados do mês de julho das normais climatológicas, temperaturas máximas e mínimas de 31,8°C e 18,1°C e precipitação acumulada no mês de 12,3mm verifica-se que o período escolhido para a análise foi condizente com o período quente seco das normais possuindo temperaturas máximas e mínimas de 34,0°C e 19,5°C e precipitação de 10,4mm.

3.1.2 Período Quente Úmido – externo

No período de medição quente úmido, verificou-se que os valores de temperaturas médias diárias tiveram maior frequência em 27°C, as temperaturas máxima diárias entre 35°C e as mínimas em torno de 23°C. Diferentes do outro período não são perceptíveis grandes mudanças do clima devido à chegada de frentes frias (Figura 17).

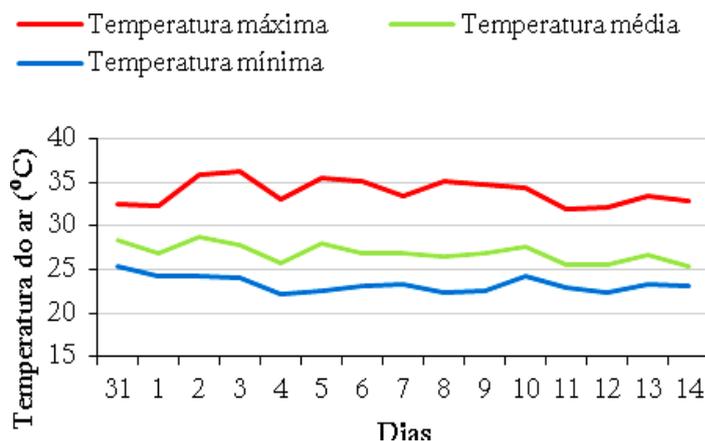


Figura 17 – Médias diárias da temperatura máxima, média e mínima, quente úmido de 31/12/13 a 14/01/14

Ao analisar os valores de médias horárias para o período, notou-se que os três últimos dias sequenciais apresentaram comportamentos semelhantes de temperatura do ar, com amplitude térmica bem menor que o outro período 9°C entre as temperaturas máximas e mínimas. No dia 4, ocorreu uma queda de temperatura as entre as 13 e 15h (Figura 18).

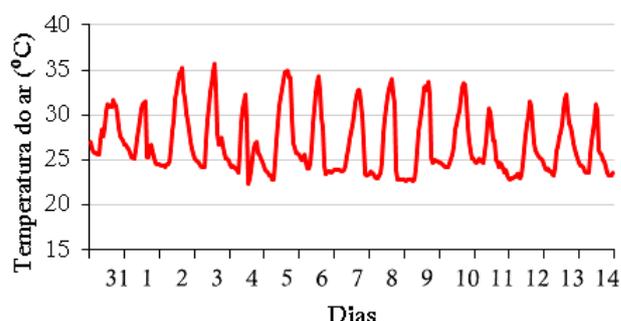


Figura 18 – Médias horárias da temperatura do ar, quente úmido de 31/12/13 a 14/01/14

Este período, ao contrário do anterior, é marcado com altas umidades durante todo o dia, com alterações menores entre as extremidades máximas e mínimas (Figura 19). Verifica-se uma grande quantidade de precipitações pluviométricas, apenas em quatro dias não ocorre chuva. Nos 15 dias, obtém um acumulado de precipitação de 163,4mm.

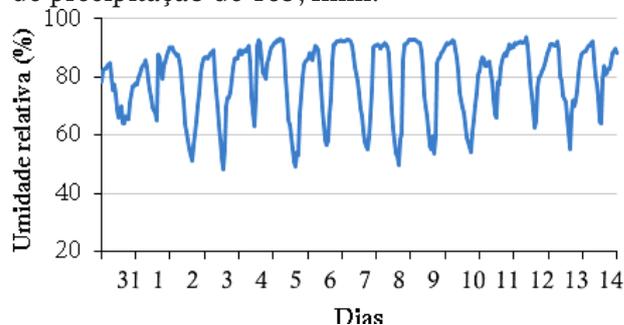


Figura 19 – Médias horárias de umidade relativa do ar, quente úmido de 31/12/13 a 14/01/14

Registrou-se a ocorrência de vento (independente da velocidade) entre 9h e 19h (Figura 20), duas horas a mais que o outro período. No dia 31, a ocorrência se mantém entre mais horas dos dias, quase o dia inteiro.

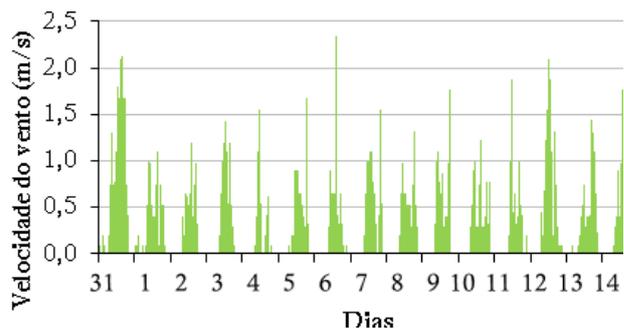


Figura 20 – Médias diárias da temperatura máxima, média e mínima, quente úmido de 31/12/13 a 14/01/14

Ao comparar os dados do local do período com os dados do mês de janeiro das normais climatológicas, temperaturas máximas e mínimas de 32,6°C e 23,2°C e precipitação acumulada no mês de 214,7mm, verifica-se que o período escolhido para a análise é condizente com o período quente seco das normais, possuindo temperaturas máximas e mínimas de 35°C e 23°C e precipitação de 163,4mm, podendo ao final de 15 dias se aproximar ao valor da normal.

3.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

3.2.1 Período Quente Seco – interno

Entre os três últimos dias típicos consecutivos, correspondentes à quarta, quinta e sexta-feira, as temperaturas internas do ar dos ambientes foram comparadas com as temperaturas externas. Nota-se que os valores da zona térmica da sala possuem picos mais elevados do que a temperatura da zona do *home office*, que possui picos mais elevados do que os valores do quarto de casal (Figura 21).

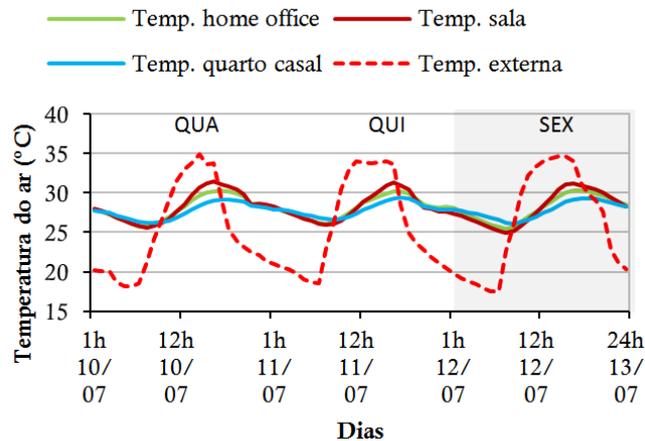


Figura 21 – Médias horárias das temp. do ar internas e externa, destacando dia típico quente seco 12/07/2013

Ao analisar o dia típico do período, verifica-se que os ambientes internos apresentam função de abrigo minimizando as temperaturas extremas, pois enquanto as temperaturas externas possuem amplitude de 17,1°C, no interior dos ambientes, a amplitude cai para 6,2°C na sala e até 3,2°C no quarto casal. Desta forma, fica evidente a ocorrência de amortecimento térmico de 3,5°C na sala com atraso de 1h e de 5,4°C no quarto do casal com atraso de 2h. No dia típico 12/07, são apresentadas máximas de 34,7°C para externa, 31,2°C para a sala e 29,3°C para o quarto de casal e mínimas de 17,5°C para externo, 25,0°C para a sala e 26,1°C para o quarto de casal.

Quanto às umidades relativas dos três dias, verifica-se que há pouca diferença entre as curvas dos ambientes e que possuem amplitudes bem menores em relação aos valores externos (Figura 22).

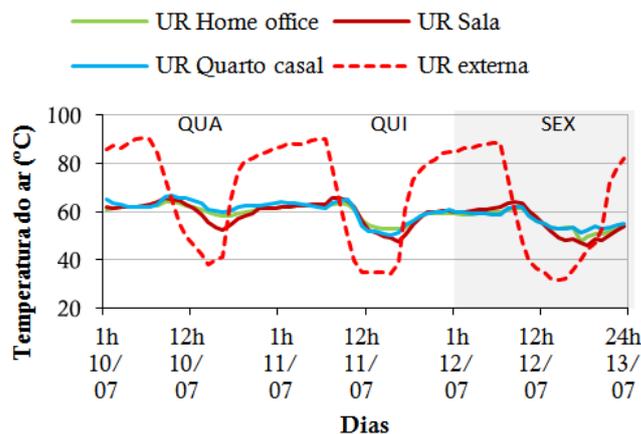


Figura 22 – Médias horárias das umid. relativas internas e externa, destacando dia típico quente seco 12/07/2013

No dia típico, 12/07/2013, são apresentadas máximas de umidade relativa de 88,5% para o ambiente externo, 63,9% para a sala e 61,3% para o quarto de casal e mínimas de 31,8% para o externo, 46,0% para a sala e 51,2% para o quarto de casal. Neste dia, mesmo que com pouca diferença, o ambiente do quarto de casal apresenta valores máximos de umidade relativa menores que a sala, diferente dos dias 10 e 11/07/2013.

Para o período quente seco verifica-se que o ambiente do quarto de casal apresenta melhores condições de desempenho que os demais ambientes de permanência prolongada. Apesar da norma não

obrigar a definição do nível de desempenho térmico pelo método de medição para a zona bioclimática de Cuiabá no período de inverno, foram feitas as análises. Ao avaliar a edificação segundo os critérios da NBR15575 (ABNT, 2013), verificou-se que as três zonas térmicas apresentaram nível superior de desempenho térmico para o período quente seco que corresponde ao inverno (Tabela 02).

Tabela 02 – Avaliação do desempenho térmico para o período quente seco correspondente ao inverno

Ambiente	Ti mín	Te mín	Critério	Nível
Sala de estar	25,0°C	17,5°C	$T_{i,mín} \geq (T_{e,mín} + 7^{\circ}\text{C})$	S
Home office	25,5°C		$T_{i,mín} \geq (T_{e,mín} + 7^{\circ}\text{C})$	S
Quarto casal	26,1°C		$T_{i,mín} \geq (T_{e,mín} + 7^{\circ}\text{C})$	S

3.2.2 Período Quente Úmido – interno

Entre os três últimos dias consecutivos (12, 13 e 14/01/14), correspondentes a domingo, segunda-feira e terça-feira, nota-se que os valores internos se aproximaram, em relação ao período anterior. Mesmo assim a zona térmica da sala possui picos mais elevados do que os valores do quarto de casal nos dias 13 e 14/01 (Figura 23). Neste período, verificam-se que as temperatura não sofrem grandes alterações, as amplitudes diárias são menos perceptíveis e não ocorre grandes diferenças em relação a temperatura externa.

Ao analisar o dia típico do período, verifica-se que os ambientes internos apresentam função de abrigo evitando temperaturas extremas, mas não é muito perceptível em relação ao período anterior, pois enquanto as temperaturas externas possuem amplitude de 8,0°C, no interior dos ambientes, a amplitude cai para 2,6°C na sala e até 2,3°C no *home office*, já no quarto casal a amplitude é maior entre os ambientes, de 4,5°C. Desta forma, apresenta-se um baixo amortecimento térmico de 2,2°C na sala sem atraso térmico e de 2,8°C no quarto do casal com atraso de 1h. No dia típico, são apresentadas máximas de 31,3°C para externa, 29,1°C para a sala e 28,5°C para o quarto de casal e mínimas de 23,3°C para externo, 2,2°C para a sala e 2,3°C para o quarto de casal.

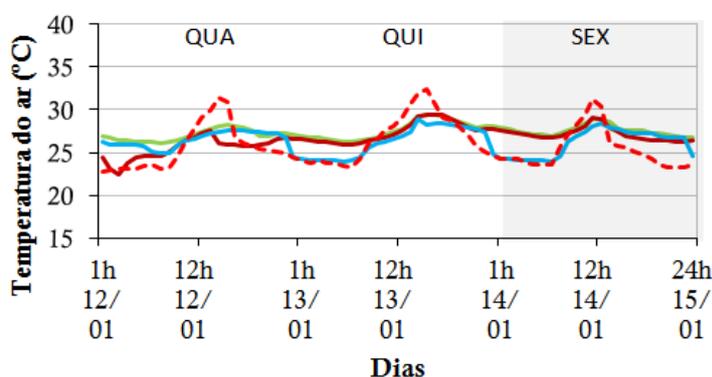


Figura 23 – Médias horárias das temp. do ar internas e externa, destacando dia típico quente úmido 14/01/2014

Quanto às umidades relativas dos três dias, verifica-se que há pouca diferença entre as curvas dos ambientes e que possuem amplitudes bem menores em relação ao período anterior, se assemelhando aos valores externos (Figura 24).

No dia típico, 14/01/2014, são apresentadas máximas de umidade relativa de 88,5% para o ambiente externo, 63,9% para a sala e 61,3% para o quarto de casal e mínimas de 31,8% para o externo, 46,0% para a sala e 51,2% para o quarto de casal.

Em geral, para o período verifica-se que o ambiente do quarto de casal apresenta melhores condições de desempenho, mas não está em discrepância em relação aos demais ambientes de permanência prolongada. Ao avaliar a edificação segundo os critérios da NBR15575 (ABNT, 2013), verificou-se que as três zonas térmicas apresentaram níveis intermediário e superior para o período quente seco que corresponde ao verão (Tabela 03).

No entanto os valores de temperaturas internas são muito altos o que não contribuem para uma condição de desconforto para o usuário.

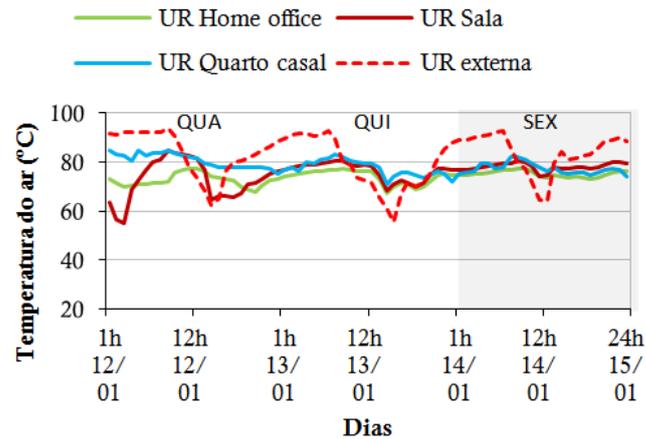


Figura 24 – Médias horárias umid. relativas internas e externa, destacando dia típico quente úmido 14/01/2014

Tabela 03 – Avaliação do desempenho térmico para o período quente úmido correspondente ao verão

Ambiente	Ti mín	Te mín	Critério	Nível
Sala de estar	31,2°C	34,7°C	Ti,máx. ≤ (Te,máx - 2°C)	I
Home office	30,3°C		Ti,mín. ≤ (Te,mín - 4°C)	S
Quarto casal	29,3°C		Ti,mín. ≤ (Te,mín - 4°C)	S

3.2.2 Avaliação do desempenho pelo método simplificado

Ao avaliar o desempenho térmico quanto aos parâmetros da envoltória, tabela 04, verifica-se que não foi atendido o critério da cobertura, por isso não é possível definir a avaliação mínima da edificação como um todo. Este critério também é um pré-requisito para a avaliação da eficiência energética, o não atendimento se configura que mesmo que o EqNumEnv obtenha melhor classificação, apenas será considerado no máximo o nível C para este sistema.

Tabela 04 – Avaliação do desempenho térmico para zona 7

Envoltória	Critérios		Avaliação
Parede externa	Transmitância térmica	$\alpha \leq 0,6$	Mínima
	Capacidade térmica	$U \leq 3,70 \quad CT \geq 130$	
	Ventilação	$A \geq 5\%$	Mínima
Cobertura	Transmitância térmica	$\alpha > 0,4 \quad U \leq 1,50$	-

3.3. Classificação da eficiência

3.3.1 Comparação entre dados medidos e simulados

Entre a análise dos dois períodos, verificou-se que o modelo apresentou resultados diferentes ao relacionar os dados, sendo que as maiores diferenças ocorreram no período quente úmido. Isso pode ter ocorrido devido aos dados pluviométricos não terem sido informados para a simulação. Em vista disso, optou-se por definir duas equações de ajuste, sendo uma para cada período de seis meses do ano: de maio a outubro e de novembro a abril.

Quanto a análise das comparações entre os ambientes, verifica-se que o *home office* é o que possui melhores resultados de ajuste, sendo que este ambiente não tem equipamento de ar. Nos demais ambientes, o condicionamento do ar interferiu nos comportamentos dos dados medidos, o que obteve valores discrepantes ao simulado, já que não foram simulados os funcionamentos dos equipamentos.

Na Tabela 5, são apresentados dois indicadores estatísticos, o coeficiente de determinação (R^2), que indica a qualidade do modelo e de como as amostras são explicadas pelo ele, e o erro quadrático médio (EQM), que representa o erro do estimador. Desta forma, entre os períodos verifica-se que o seco apresentou indicadores estatísticos mais favoráveis ao modelo e entre os ambientes foi o *home office*, sendo as equações desta comparação a definida para o ajuste dos dados simulados.

Tabela 05 – Resumo dos indicadores estatísticos

	<i>Home Office</i>		Sala		Q. Casal	
	R ²	EQM	R ²	EQM	R ²	EQM
Seco	0,911	1,202	0,907	1,371	0,557	1,730
Úmido	0,790	2,025	0,665	2,137	0,615	2,535

3.3.2 Graus hora e classificação em níveis

A partir da aplicação do RTQ-R, realizou-se a determinação do nível de eficiência energética. A edificação não apresenta instalado nenhum sistema de aquecimento de água, por isso o EqNumAA é o mínimo, valor igual a 1. Na avaliação generalizada dos demais sistemas, é possível pontuar 0,3 pontos, para o sistema de iluminação e artificial e de refrigerador. Mesmo se fosse considerado o sistema de ar condicionado não alteraria o valor final da classificação.

Para a determinação final do nível de eficiência energética, é necessário avaliar a envoltória e determinar o EqNumEnv. A somatória dos graus-horas do *home office* foi de 26.567,62, para a sala foi de 26.141,29°C e para a suíte foi 23.253,77°C. Desta forma, os três ambientes de encaixam no equivalente numérico de nível C, igual a três.

A partir da definição da avaliação da envoltória em nível C em somatória com os demais parâmetros citados anteriormente, obteve-se uma avaliação total do edifício em nível C.

3.4. Discussões

Na análise dos dados externos, verificou-se que ambos os períodos de 15 dias de medição são correspondentes às condições climáticas do período quente seco e quente úmido, aos quais fazem parte. O período quente seco apresentou: baixas temperaturas à noite com grande amplitude térmica entre os extremos diários, baixas umidades relativas no período diurno e ocorrência de frentes frias. O período quente úmido apresentou pouca alteração entre as temperaturas diárias e umidade relativa com precipitações pluviométrica na maioria dos dias. Desta forma, os dados medidos são condizentes as normais climatológicas de 1961-1990.

Ao analisar os dados internos, verificou-se que entre os ambientes analisados, a sala de estar foi o pior ambiente, sendo o quarto de casal o melhor. Este resultado ocorreu em ambos os períodos, no entanto a diferença entre os ambientes é mais perceptiva no período quente seco. Desta forma, obteve-se amortecimento térmico de 3,5°C na sala com atraso de 1h e de 5,4°C no quarto do casal com atraso de 2h no período quente seco. Já no período quente úmido, amortecimento térmico de 2,2°C na sala sem atraso térmico e de 2,8°C no quarto do casal com atraso de 1h.

A avaliação segundo o método da medição, mas não ocorrendo no dia típico de verão recomendado, obtiveram-se níveis superiores de desempenho térmico para o quarto de casal e *home office*, mas nível intermediário para a sala de estar. Segundo o método simplificado, as paredes apresentaram nível mínimo de desempenho, no entanto a cobertura não atendeu ao critério. De acordo com este resultado não foi possível avaliar a edificação em nível mínimo. Mas medidas como uso de manta térmica na cobertura e maior reboco ou sobreamento nas paredes poderiam contribuir para um melhor resultado. Mesmo com um desempenho térmico favorável, a edificação ainda apresentará uma condição climática desfavorável ao conforto térmico.

Ao comparar os resultados simulados aos dados medidos, contatou-se que o *home office* foi o ambiente como melhores resultados dos indicadores estatísticos de índice de confiabilidade e erro quadrado médio: $R^2 = 0,911$ no período quente seco e 0,7897 no quente úmido, o erro foi de 1,2016 e 2,0247 para os períodos respectivamente. Por isso, a fórmula de ajuste dos resultados foi obtida a partir da comparação dos dados do ambiente do *home office* e utilizada separada para cada período de seis meses. Após o ajuste dos dados simulados, a edificação obteve nível C de eficiência energética, com possibilidades de aumentar, caso sejam realizadas algumas reformas.

A edificação foi produzida com o objetivo de obtenção de maior lucro, por isso o sistema construtivo visa à rápida construção com menor desperdício de materiais. No entanto, pequenas alte-

rações poderão garantir ao usuário uma maior economia de energia devido à redução de energia pelos sistemas de resfriamento, esta economia será obtida durante todo o período de vida útil do produto.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No desenvolvimento das avaliações de desempenho térmico e eficiência energética constatou-se que os métodos existentes ainda devem ser complementados para a melhor utilização. No método de desempenho térmico por medição, verificou-se a dificuldade de se obter a medição do dia típico proposto pela NBR 15575 (ABNT, 2013). Para o método simplificado, considera-se a necessidade de obter mais níveis de classificação e não apenas se restringindo ao cumprimento mínimo exigido. Para a avaliação da eficiência energética, verificou-se ambiguidades ao interpretar as condições reais a serem inseridas no programa de simulação, cada avaliador pode considerar algum ponto que se configuram em grandes erros devido a complexidade do desenvolvimento da simulação termo-energética.

Por isso, com objetivo de se reduzir os erros dos dados simulados, considerou-se importante a realização da calibração com dados medidos. Apesar de ter ocorrido pouca diferença entre os dados medidos e simulados, o ajuste dos dados implicou em uma grande diferença na avaliação final, podendo até levar a mudanças de nível. Por isso, com o objetivo de aumentar a confiabilidade da avaliação é necessário o desenvolvimento de métodos de calibração e a obrigação da comparação entre os dados medidos e simulados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro utilizados na pesquisa pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BORGES, C. A. M. O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil. 2008. 263f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR - MDIC. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade - RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2012.

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

LAMBERTS, R; GHISI, E; PEREIRA, C. D; BASTISTA, J. O. Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico. Florianópolis:UFSC/LabEEE; 2010, V.1, 123 p.

LEÃO, E. F. T. B. Carta Bioclimática de Cuiabá - Mato Grosso. 2007. 147f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente). Pós-graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT.

MIRANDA, S. A. Desempenho térmico em dormitórios e consumo de energia elétrica residencial: Estudo de caso em Cuiabá-MT. 2011. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT.

MACHADO, F. L. V; MACHADO, M. DE R.; BASTOS, L. G; RIOS, I. DA S. Modelos de Classificações Climáticas: Estudo de Caso no Município de Cuiabá (MT). GEONORTE. 2012. Edição Especial 2. Vol. 2. N 5. p 1455–1467. (ISSN 2237-1419).

SACHS, I. A revolução energética do século XXI. Revista Estudos Avançados. v. 21. n. 59. USP: São Paulo. 2007.