

<http://dx.doi.org/10.5902/2236117013859>

Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria
Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET
e-ISSN 2236 1170 - V. 18 n. 3 Set-Dez 2014, p.1124-1136



Classificação da eficiência energética de uma edificação pública em Sinop-MT e propostas de adequação

Rating the Energy Efficiency of a Public Building in Sinop city – MT and Proposals of Adequacy

Mateus Bavaresco¹, João Carlos Machado Sanches², Érika Fernanda Toledo Borges Leão³, Marlon Leão⁴

¹ Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop, Brasil.

^{2,3,4} Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop, Brasil.

Resumo

O crescimento no consumo energético das edificações impulsionou a criação de mecanismos e estratégias que visam princípios de eficiência energética. A referência brasileira para avaliação do desempenho energético dos edifícios é o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). O Regulamento baseia-se na classificação de três sistemas: a envoltória, o sistema de iluminação e o de condicionamento de ar. Ainda são poucas as edificações etiquetadas no Brasil e o custo para aplicar as exigências do RTQ-C nos edifícios públicos mato-grossenses ainda não foi mensurado. O presente artigo apresenta o custo para implementação dos requisitos de eficiência energética em uma edificação sob dois aspectos: fase de projeto e edifício construído (retrofit). Para tal, foram avaliadas as características de uma edificação pública na cidade de Sinop – MT, através do método prescritivo. Os resultados mostraram que elevar o nível de eficiência geral da edificação de “D” para “A”, após a construção mediante retrofit, custaria mais 6,10% do valor do edifício. O superdimensionamento dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar foi a principal causa da discrepância encontrada entre os orçamentos.

Palavras-chave: Eficiência energética, Etiquetagem de edificações, RTQ-C, Método prescritivo, Retrofit.

Abstract

The increase in energy consumption of buildings spurred the creation of mechanisms and strategies that aim principles of energy efficiency. Brazil's benchmark for evaluating the energy performance of buildings is the Technical Quality Regulation on the Energy efficiency of Commercial, Service and Public Buildings (RTQ-C). The Regulation is based on classification of three main aspects: building envelopes, lighting systems and air conditioning systems. There are few labeled buildings in Brazil and the cost to implement the exigencies of RTQ-C in public buildings from Mato Grosso has not been measured yet. This article presented the cost to implement the requirements of energy efficiency in a building from two aspects: the design phase and constructed building (through retrofit). Therefore, we evaluated the characteristics of a public building in the city of Sinop – MT through the prescriptive method. The results showed that increasing the level of overall efficiency of building from “D” to “A”, after building (through retrofit) would cost around 6.10% over the whole value of the building. The oversized systems of lighting and air conditioning was the main factors in the discrepancy between budgets.

Keywords: Energy efficiency, Labeling of buildings, RTQ-C, Prescriptive method, Retrofit.

Recebido em: 15.05.14 Aceito em: 01.07.14

I INTRODUÇÃO

Após os tratados do Protocolo de Kyoto (1997), um grande desafio para o século XXI é a garantia de futuro sustentável, uma vez que o crescente consumo de energia mostra-se prejudicial à preservação de recursos naturais em longo prazo. Tendo em vista a atual discrepância no fornecimento de energia no cenário mundial, é essencial que sua geração e distribuição sejam realizadas com igualdade às diversas partes do mundo. Para isso, a Engenharia apresenta um papel de grande relevância na otimização das tecnologias adequadas ao desenvolvimento com uso racional de energia. (INTERACADEMY COUNCIL, 2007).

Com o intuito de tornar o consumo elétrico no Brasil mais racional e eficiente, o Ministério de Minas e Energia (MME), atendendo às exigências da Lei 10.295/2001 (BRASIL, 2001) - que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia - criou os Regulamentos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e também o de edifícios Residenciais (RTQ-C e RTQ-R, respectivamente).

Tais regulamentos possuem, ainda, caráter voluntário e consideram os três principais sistemas relacionados ao consumo de energia: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. (BRASIL, 2010).

Sabe-se que a busca por eficiência energética já é realidade em diversas nações, afinal, de acordo com Geller *apud Lamberts et al.* (1997), “é mais barato economizar energia do que fornecê-la [...]”. A eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um mesmo serviço usando menor quantidade de energia. Seus indicadores são de grande valia, tanto para o governo quanto para órgãos privados, pois podem servir como ferramenta para formular políticas de uso mais eficiente da energia em edificações (CHUNG, 2006). Entretanto, os ganhos energéticos através da aplicação de conceitos do RTQ-C ainda não foram mensurados para as tipologias mais usuais de edificações públicas no Mato Grosso. Igualmente, o custo para implementar alternativas que aumentem o nível de eficiência energética das mesmas é desconhecido.

Luciano (2013) e Teruel (2013) classificaram os níveis de eficiência energética da envoltória, do sistema de iluminação e do condicionamento de ar na edificação do Tribunal Regional do Trabalho (TRT), em Sinop – MT. Seus resultados possibilitaram estudar as características relacionadas ao consumo energético daquela edificação. Para isso, fez-se necessário conhecer parâmetros apresentados por Brasil (2010) através da Portaria nº 372.

As pesquisas iniciais de Luciano (2013) e Teruel (2013) certificaram os sistemas individualmente, possibilitando que o edifício do TRT fosse analisado de maneira global. Com a rotulação final, foi possível determinar os fatores que acentuaram a baixa eficiência e, deste modo, geraram-se recomendações que visam otimizar o consumo energético no local. Não cabe a esta pesquisa reproduzir os procedimentos descritos pelo RTQ-C, e, sim, mostrar a aplicação desses conceitos em um edifício real, a fim de estimar os custos da inclusão de fatores exigidos pelo Regulamento nas edificações da região.

Com esse intuito, a melhor solução é englobar gradualmente os conceitos de eficiência energética em edifícios. Essa é uma mudança que implicará em otimização no uso de energia e melhor adequação das edificações ao clima. Portanto, é inegável a necessidade de os atores da construção civil acurarem os conceitos de eficiência energética que, além de incorporarem valor ao produto, colaboram no desenvolvimento sustentável dos municípios. (TAVARES, 2011).

Este estudo tem como objetivo propor alternativas para aumentar ao máximo o nível de eficiência energética em uma edificação pública. Bem como confrontar os custos para executá-las em duas situações: a primeira considerando *retrofit* do edifício e a segunda, hipotética, supondo que o projeto tivesse seguido as recomendações deste artigo.

2 METODOLOGIA

Este tópico expõe os procedimentos aderidos para estudo e avaliação da eficiência energética de uma edificação de caráter público no município de Sinop – MT, assim como propostas de *retrofit*. Na pesquisa, foram abordados os seguintes itens: envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar. Posteriormente, a edificação foi classificada de maneira global, por intermédio de uma pontuação total calculada com base nas características apresentadas pelos sistemas descritos. As equações adotadas para especificar o nível de eficiência energética do edifício foram apresentadas pelo método

prescritivo do RTQ-C. (BRASIL, 2010).

2.1 ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS DO TRT

As considerações iniciais para este artigo provêm das pesquisas realizadas por Luciano (2013) e Teruel (2013). Ambos os estudos classificaram os níveis de eficiência energética do TRT e deixaram como proposta a compilação dos resultados e sugestões de melhorias que tornem o consumo elétrico mais eficiente. Além disso, realizaram-se medições e vistorias *in loco* conforme necessário.

2.2 ESTUDO DE ESTRATÉGIAS DE CONFORTO AMBIENTAL E METODOLOGIA DE ETIQUETAGEM EM EDIFICAÇÕES

Essas análises foram fundamentadas nas metodologias apresentadas por Lamberts *et al.* (1997), Magalhães (2001), Serafin (2010) e nos manuais de certificação elaborados por Brasil (2010). Os manuais, em especial, serviram de base à pesquisa. Brasil (2010) apresenta todos os pré-requisitos necessários para classificar o consumo de uma edificação diante de sua eficiência, além da metodologia para a certificação. Ademais, Brasil (2009) apresenta um manual que aborda os conceitos de aplicação dos métodos de etiquetagem, o qual serviu de referência para o melhor entendimento dos procedimentos de classificação.

2.3 DISTINÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A pesquisa consistiu em avaliar os três sistemas (envoltória, iluminação e condicionamento de ar) do TRT, dando continuidade aos estudos de Luciano (2013) e Teruel (2013), com o intuito de apresentar alternativas para reduzir o consumo elétrico no local. Os sistemas foram avaliados separadamente, buscando os agravantes à baixa eficiência. Com isso, sugestões foram realizadas para que o edifício obtivesse melhor aproveitamento energético de maneira global.

2.4 AVALIAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Os estudos realizados para classificação da edificação estão descritos a seguir:

2.4.1 Certificação atual do edifício

Através da análise e compilação dos resultados apresentados por Luciano (2013) e Teruel (2013), obteve-se subsídio para classificar a edificação de maneira global. Para tanto, considerou-se as características arquitetônicas atuais, tais como percentual de abertura nas fachadas e características dos materiais empregados.

O mesmo foi feito com os sistemas de iluminação e condicionamento de ar, que foram classificados conforme situação atual. O objetivo dessa parte do artigo foi determinar quais sistemas tiveram maior peso na classificação geral do edifício. Para isso, foram utilizadas as formulações apresentadas por Brasil (2010), por meio do regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios, por intermédio da Portaria nº 372.

2.4.2 Análise e proposta de intervenções à envoltória

Avaliaram-se as características arquitetônicas do TRT, através de medições *in loco*, revisão bibliográfica e pela NBR 15220-3 (ABNT, 2003b). Com isso, propriedades como transmitância e absorvância térmica das paredes e cobertura foram mensuradas e analisadas. Com a posse dos dados, determinaram-se os fatores que implicaram no baixo nível de eficiência e foram propostas soluções para aspectos considerados negativos do ponto de vista energético. O principal conceito utilizado para determinar se um aspecto é negativo ou não foram os de Brasil (2010), com suas recomendações a respeito dos pré-requisitos necessários para o nível de eficiência pretendido.

2.4.3 Análise e proposta de intervenções ao sistema de iluminação

Para verificar as condições da iluminação, realizaram-se avaliações *in loco*, foram consultados manuais técnicos de fabricantes, a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) e a metodologia de certificação apresentada por Brasil (2010).

A classificação foi realizada através do método da área, caracterizado por Brasil (2010). Este método avalia, de forma conjunta, todos os ambientes da edificação e resulta em um valor limite de potência instalada no sistema. O mesmo deve ser aplicado apenas em edificações com até três atividades principais ou para atividades que ocupem mais 30% da área total. A metodologia é pertinente ao estudo, tendo em vista que a edificação apresenta a atividade de “tribunal” como a principal. A coleta e a análise dos dados implicaram em recomendações de *retrofit*.

2.4.4 Análise e proposta de intervenções ao sistema de condicionamento de ar

A avaliação do condicionamento de ar consistiu, inicialmente, em verificações *in loco*, a fim de determinar as quantidades e os modelos de cada componente. Para analisar o sistema, utilizaram-se os manuais técnicos dos fabricantes e as tabelas do INMETRO que classificam a eficiência energética de cada equipamento. Baseando-se nos regulamentos técnicos de etiquetagem, foram sugeridas medidas que melhorem a eficiência do sistema e garantam que a classificação global do edifício não seja comprometida pelo desempenho insatisfatório do sistema de condicionamento de ar.

Para mensurar a carga térmica do TRT e determinar se o sistema de condicionamento está superdimensionado, utilizou-se a Planilha para cálculo simplificado de carga térmica, desenvolvida pelo LABCEE (Laboratório de Conforto e Eficiência Energética) em conjunto com o PROBEN (Programa do Bom Uso Energético). A instituição responsável pela elaboração do material foi a Universidade Federal de Pelotas (UFPeI).

2.4.5 Certificação da edificação pós-intervenções

Com todos os sistemas analisados, conforme sugere o regulamento de etiquetagem, e considerando as intervenções e suas influências na eficiência energética do edifício, o TRT foi classificado de maneira global.

2.4.6 Apresentação dos custos

O cálculo do orçamento necessário para que a edificação alcançasse nível “A” de eficiência foi apresentado considerando duas variações: *retrofit* e incorporação dos conceitos ainda na fase de projeto (situação hipotética). A variação dos resultados é devida aos custos adicionais quando a edificação precisa de reforma.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, a eficiência geral do TRT foi calculada por intermédio da Equação 1. O edifício não apresenta ambientes com ventilação natural. Mesmo em áreas não condicionadas, as janelas permanecem fechadas constantemente. O item “bonificações” tem valor nulo por não haver iniciativas que aumentem a eficiência energética.

$$PT = 0,30 \cdot \left\{ (EqNum_{ENV} \cdot \frac{AC}{AU}) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNum_v \right) \right\} + 0,30 \cdot (EqNum_{DPI}) + 0,40 \cdot \left\{ (EqNum_{CA} \cdot \frac{AC}{AU}) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNum_v \right) \right\} + b^1 \quad (\text{Equação 1})$$

AC: Área Condicionada = 658,86 m²

ANC: Área Não Condicionada (ambientes de permanência prolongada) = 0 m²

APT: Área de Permanência Transitória (desde que não condicionada) = 65,47 m²

AU: Área Útil = 724,33 m²

b: Bonificações = 0

EqNum_{env}: Equivalente Numérico da Envoltória = 1

EqNum_{DPI}: Equivalente Numérico do Sistema de Iluminação = 3

EqNum_{CA}: Equivalente Numérico do Sistema de Condicionamento de Ar: 2,71

EqNum_v: Equivalente Numérico de Ambientes Ventilados Naturalmente = 0

O cálculo resultou na pontuação total (PT) 2,47, que qualifica a edificação no nível de eficiência “D”, conforme valores pré-determinados pelo RTQ-C, expressos na Tabela 1. Ao fim do levantamento, buscaram-se os agravantes à baixa eficiência nos três sistemas da edificação.

Constatou-se que a elevada transmitância da cobertura (2,35 W/m²K) era impactante à baixa eficiência da envoltória. A cobertura atual consiste em telhas de fibrocimento, laje de concreto e forro de gesso. A falta de elementos isolantes majora bruscamente os valores de transmitância.

Além disso, a abertura zenital do TRT apresenta fechamento em vidro comum, contribuindo com a elevação da transmitância.

A parcela do índice de consumo da envoltória, devido às aberturas das fachadas, possui grande impacto no resultado final. Portanto o elevado percentual de abertura nas fachadas contribuiu com a classificação da envoltória do TRT em nível “D”.

Tabela 1 - Classificação geral apresentada pelo RTQ-C

| PT | Classificação Final |
|--------------------|---------------------|
| $4,5 \leq X < 5$ | A |
| $3,5 \leq X < 4,5$ | B |
| $2,5 \leq X < 3,5$ | C |
| $1,5 \leq X < 2,5$ | D |
| $X < 1,5$ | E |

Já os ângulos de sombreamento, advindos dos detalhes do próprio edifício, não são suficientes para amenizar a carga térmica de insolação. Deste modo, o índice de consumo foi insatisfatório e deve ser melhorado.

Quanto ao sistema de iluminação, o não cumprimento do pré-requisito de contribuição da luz natural impediu que níveis superiores a “C” fossem alcançados. O pré-requisito exige que ambientes com aberturas que propiciem incidência de iluminação natural apresentem acionamento independente das luminárias da fileira paralela às aberturas, de modo que as lâmpadas possam ser desligadas conforme possível. Entretanto, no caso do TRT, mesmo que a exigência fosse respeitada, a eficiência do sistema seria baixa devido à alta potência instalada no local. O valor apresentado deve ser reduzido para garantir melhores índices de consumo.

O sistema de condicionamento de ar cumpriu o pré-requisito de isolamento das tubulações. Essa característica possibilita obtenção de nível “A”. No entanto, a avaliação da potência instalada apresentou equivalente numérico correspondente ao nível “C”. A baixa eficiência é consequência do uso de 12 equipamentos classificados pelo INMETRO em nível “D”.

O sistema de condicionamento de ar é o de maior importância para garantir que o nível de eficiência geral do edifício seja satisfatório. Ele é responsável por 40% da pontuação total. Apesar de o sistema ter classificação “C”, seu equivalente (2,71) encontra-se próximo ao limite entre os níveis “C” e “D” (2,50), conforme apresentado por Teruel (2013). A aplicação da Equação 1 deve considerar os equivalentes fracionados, deste modo, as características do sistema de condicionamento de ar implicaram na classificação da eficiência do TRT em nível “D”.

3.1 PROPOSTAS DE INTERVENÇÕES

3.1.1 Envoltória

A transmitância térmica da cobertura deve ser minimizada por ser um agravante à baixa eficiência da envoltória. Para encontrar uma solução utilizou-se o *software* Transmitância 1.0, desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O mesmo está disponível para *download* no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE).

Com o intuito de respeitar o limite de transmitância térmica para coberturas em ambientes condicionados ($1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$), a solução encontrada considera o uso de manta térmica de alumínio sob as telhas de fibrocimento 6 mm e também prevê a pintura da parte externa da cobertura com duas demãos de tinta à base d'água branca. A combinação dos novos recursos aos demais componentes (laje de concreto 7 cm e forro de gesso 2 cm), bem como a câmara de ar existente, apresentam transmitância térmica total de $0,91 \text{ W/m}^2\text{K}$, atendendo às especificações para nível “A”.

A proposta para a abertura zenital é a substituição do vidro comum pela telha translúcida de polipropileno da BrasilitTM. A mesma possui 8 mm de espessura e é fabricada com polipropileno (condutividade térmica $0,25 \text{ W/m.K}$).

A análise do desempenho da envoltória comprovou a importância de dispositivos externos de sombreamento das áreas envidraçadas das fachadas norte e oeste. Para isso, optou-se por brises metálicos horizontais e verticais, respectivamente. O modelo escolhido foi o Lumibrise 84F, apresentado na Figura 1. Para determinar o índice de consumo da envoltória, o modelo não interfere nos ângulos de sombreamento das aberturas, conforme define BRASIL (2009), “caso a proteção solar ocupe área paralela à fachada, esta é considerada fachada, participando do cálculo de PAF”. Entretanto, sua instalação apresenta vantagens por reduzir a área considerada como abertura nas fachadas, que possui grande impacto no índice de consumo da envoltória.

3.1.2 Sistema de iluminação

Sugere-se o *retrofit*, visando o atendimento do pré-requisito não respeitado (contribuição da luz natural). É necessário que a iluminação de ambientes com janelas voltadas para o exterior ou para ambientes com cobertura translúcida seja ajustada. As fileiras de luminárias mais próximas às fontes de iluminação natural devem possuir acionamento independente para eventuais desligamentos. No TRT, todos os ambientes possuem fonte de iluminação natural. Deste modo, deve-se desassociar o controle das fileiras de luminárias mais próximas a tais fontes.

Além da adequação ao pré-requisito, é necessário reduzir a potência total instalada no sistema de iluminação.



Figura 1 - Brise metálico Lumibrise 84F

Fonte: Lumibrise, 2013

3.1.3 Condicionamento de ar

O sistema respeita a exigência do único pré-requisito (isolamento térmico das tubulações). Deste modo, é necessário que os aparelhos de condicionamento de ar apresentem níveis de eficiência satisfatórios. Entretanto, um modelo superdimensionado seria ineficiente mesmo se composto por equipamentos classificados pelo INMETRO em nível “A”, tendo em vista o elevado valor de potência instalada.

Para determinar a quantidade suficiente de aparelhos no TRT, calculou-se a carga térmica da edificação através do método simplificado. Utilizaram-se as características pós-intervenções da envoltória e do sistema de iluminação. Deste modo, para as fachadas norte e oeste foram consideradas proteções externas, enquanto que para as fachadas sul e leste as proteções foram internas. As paredes externas tiveram seu fator de ponderação em “paredes pesadas” por possuírem mais de 15 cm de espessura.

O telhado foi considerado com isolamento térmico e o número de pessoas na edificação foi estimado em 110, supondo dias bastante movimentados, com audiências nas duas varas do tribunal. Atribuiu-se 7.000 W de potência para os equipamentos em geral e 3.137,60 W de potência para a iluminação. O fator geográfico para a região Sinop é 1,05. Combinando as equações e fatores, a carga térmica encontrada para o edifício foi de 239.988,72 Btu/h.

Deve-se montar um sistema de condicionamento com capacidade superior à carga térmica do edifício, isto é, com valor comercial acima. Como a ideia principal engloba *retrofit* da edificação, optou-se por manter os aparelhos com eficiência satisfatória. Deste modo, conservaram-se 9 aparelhos de 12.000 Btu/h e um aparelho de 18.000 Btu/h, com o total de 126.000 Btu/h. Optou-se por alcançar a capacidade restante com 5 aparelhos de 24.000 Btu/h.

3.2 CERTIFICAÇÃO PÓS-INTERVENÇÕES

3.2.1 Envoltória

De acordo com Luciano (2013) e Teruel (2013), as paredes externas da edificação apresentam transmitância e absorptância inferiores aos limites para o nível “A”. De maneira distinta, a absorptância da cobertura extrapola o limite para o nível “B”. Entretanto, como uma das intervenções sugeridas inclui a pintura da cobertura com tinta de cor branca, a absorptância passaria a atender às exigências do nível “A”, já que o branco confere ao material absorptância (α) inferior a 0,50.

A transmitância da telha da abertura zenital foi calculada de acordo com os procedimentos da NBR 15220-2 (ABNT, 2003a). A Equação 2, que relaciona a espessura (e) e a condutividade térmica (λ) do material, é usada para determinar a resistência térmica da telha.

$$R_t = \frac{e_{\text{telha}}}{\lambda_{\text{telha}}} = \frac{0,008}{0,25} = 0,032 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (\text{Equação 2})$$

Para o cálculo da resistência térmica total (R_T) do material, é necessário conhecer a resistência térmica superficial interna (R_{si}) e externa (R_{se}). Considerando fluxo de calor descendente, esses valores, apresentados pela NBR 15220-2 (ABNT, 2003a), são $0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ e $0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, respectivamente. A resistência total da telha de polipropileno é apresentada a seguir, pela Equação 3.

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,242 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (\text{Equação 3})$$

Calculou-se a transmitância térmica de acordo com a Equação 4.

$$U = \frac{1}{R_T} = 4,13 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (\text{Equação 4})$$

Com as transmitâncias dos materiais que compõem a cobertura, determinou-se a transmitância total, através de ponderação por área. Os valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Transmitância da cobertura ponderada por área

| Comp. | Área (m ²) | Transm. (W/m ² K) | Área Ponderada | Transm. Ponderada |
|---|------------------------|------------------------------|----------------|-------------------|
| Telha fibrocimento – manta de alumínio – ar – laje de concreto – ar – Gesso | 789,33 | 0,91 | 0,976 | 0,88 |
| Telha translúcida 8 mm. | 20 | 4,13 | 0,024 | 0,09 |
| Total | 809,33 | | | 0,97 |

Avaliou-se o índice de consumo da edificação considerando as novas características. Para tal, adotou-se a Equação 5, proposta pelo RTQ-C para edificações localizadas em zona bioclimática 5 e com área de projeção superior a 500 m^2 .

$$\text{EqNum}_{\text{env}} = 511,12 \cdot \text{FA} + 0,92 \cdot \text{FF} - 95,71 \cdot \text{PAF}_T - 99,79 \cdot \text{FS} - 0,52 \cdot \text{AVS} - 0,29 \cdot \text{AHS} - 380,83 \cdot \text{FF} \cdot \text{FA} + \frac{4,27}{\text{FF}} + 729,20 \cdot \text{PAF}_T \cdot \text{FS} + 77,15 \quad (\text{Equação 5})$$

O cálculo do equivalente de consumo exige o conhecimento dos fatores relacionados a seguir.

- A_{pe} : área de projeção do edifício = $809,33 \text{ m}^2$;
- A_{tot} : área total construída = $809,33 \text{ m}^2$;
- A_{env} : área da envoltória = $1.391,97 \text{ m}^2$;
- $A_{p_{cob}}$: área de projeção da cobertura = $809,33 \text{ m}^2$;
- AVS: ângulo vertical de sombreamento = $13,95^\circ$;
- AHS: ângulo horizontal de sombreamento = $15,5^\circ$;
- FF: fator de forma = $0,331$;

FA: fator de altura = 1;
 FS: fator solar = 0,58;
 PAF_T: percentual de abertura na fachada total = 0,08;
 V_{tot}; volume total = 4.208, 52 m³.

A aplicação da Equação 5 resultou no $IC_{env} = 431,97$. O indicador de consumo não é diretamente relacionado ao consumo de energia na edificação, pois ele não considera fatores importantes como a carga térmica e o consumo de equipamentos, por exemplo. Portanto, o índice de consumo deve ser considerado como um indicador para comparação entre edificações cuja volumetria é idêntica. Para comparar os níveis de eficiência, o indicador deve ser analisado em uma escala dividida em intervalos que caracterizam o desempenho de “A” a “E”. Para obter essa escala, é necessário calcular os índices de consumo máximo (IC_{maxD}) e mínimo (IC_{min}). (BRASIL, 2009).

O cálculo do IC_{maxD} e IC_{min} resultou em 623,70 e 415,23, respectivamente. Encontrar esses valores depende da aplicação da Equação 5, usando dados fornecidos pelo RTQ-C. A Tabela 3 apresenta os valores que devem ser utilizados. Com a variação nos indicadores de consumo calculada, é necessário determinar o intervalo para cada nível de eficiência (através da Equação 6, apresentada a seguir), para montar a tabela que apresenta todos os resultados e classifica a envoltória.

Tabela 3 - Dados para obtenção do IC_{maxD} e IC_{min}

| | PAF _T | FS | AVS | AHS |
|-------------|------------------|------|-----|-----|
| IC_{maxD} | 0,6 | 0,61 | 0 | 0 |
| IC_{min} | 0,05 | 0,87 | 0 | 0 |

$$I = \frac{IC_{maxD} - IC_{min}}{4} \quad (\text{Equação 6})$$

A aplicação da Equação 6 resultou em $I = 52,12$. A Tabela 4 mostra os limites para o indicador de consumo da envoltória em cada nível de eficiência.

Tabela 4. Limites para o IC_{env} em cada nível de eficiência

| | A | B | C | D | E |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| IC_{env} | 415,23 | 467,34 | 519,46 | 571,68 | 623,70 |

Com as intervenções sugeridas à envoltória, o IC_{env} correspondente (431,97) é suficiente para classificar a edificação no nível “A” de eficiência energética.

3.2.2 Sistema de iluminação

O sistema de iluminação atual consiste em duas tipologias. A primeira, utilizada na maioria dos ambientes, está especificada na Tabela 5. O outro recurso, mais simples e empregado apenas nos banheiros, é composto por 15 lâmpadas fluorescentes compactas, com 20 W de potência.

Tabela 5 - Características das luminárias

| Equipamento | Características |
|----------------|---|
| Luminária | Duas lâmpadas com refletor e aletas de alumínio |
| Lâmpada | 40 W |
| Reator | EB eletrônico 2 x 40 W |
| Potência total | Perdas: 2,8 W 82,8 W |

O TRT possui 124 luminárias, equivalente à potência de 10.267,2 W. Somando a capacidade das lâmpadas dos banheiros, tem-se uma potência total de 10.567,2 W.

O sistema de iluminação foi avaliado pelo método da área, que consiste em determinar a potência instalada por área e verificar se extrapola ou não os limites pré-estabelecidos. Para isso, o edifício deve apresentar, no máximo, três atividades distintas. A Tabela 6 mostra os valores máximos de potência para os níveis de eficiência pretendidos no ambiente característico desse estudo.

Tabela 6 - Limite máximo aceitável de Densidade de Potência de Iluminação (DPI_L) para ambientes de tribunal

| Função do Edifício | DPI W/m ² (nível A) | DPI W/m ² (Nível B) | DPI W/m ² (Nível C) | DPI W/m ² (Nível D) |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Tribunal | 11,3 | 13,0 | 14,7 | 16,4 |

De acordo com a potência total instalada no edifício (10.567,2 W), sua classificação seria nível “C”, pois seus 724,33 m² de área iluminada apresentam $DPI = 14,59 \text{ W/m}^2$. A fim de atender às exigências para nível “A”, a potência deveria ser reduzida para, no máximo, 8.184,93 W.

A eficiência luminosa das lâmpadas utilizadas nas luminárias do TRT é satisfatória: 75 lm/W. Dado o valor excessivo de potência instalada, tendo em vista as características das lâmpadas, pode-se afirmar que o ambiente apresenta luminosidade superior à necessária. Segundo a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), valores excessivos de iluminância provocam ofuscamento e devem ser evitados. Deste modo, a redução da potência instalada não se dá em detrimento das condições de conforto aos funcionários, pelo contrário, visa reduzir o consumo elétrico e melhorar as condições de iluminância no local. A Tabela 7 apresenta o número de lâmpadas existente em cada ambiente, as recomendações de iluminância normatizadas e as sugestões de redução calculadas com base nisso.

Tabela 7 - Características do sistema de iluminação atual e sugestões quantitativas

| Ambiente | Número de lâmpadas | Iluminância atual (lux) | Iluminância exigida pela norma (lux) | Número de lâmpadas suficiente |
|--------------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Hall de entrada | 28 | 759,15 | 100 | 5* |
| Protocolo | 8 | 1297,30 | 500 | 4 |
| 1ª Vara | 44 | 2400,00 | 500 | 10 |
| 2ª Vara | 44 | 2400,00 | 500 | 10 |
| Gabinetes Juízes 1ª Vara | 16 | 1428,60 | 500 | 4 |
| Gabinetes Juízes 2ª Vara | 16 | 1428,60 | 500 | 4 |
| Arquivo 1ª Vara | 16 | 1544,40 | 200 | 3* |
| Arquivo 2ª Vara | 16 | 1544,40 | 200 | 3* |
| Sala assistentes | 8 | 1632,65 | 500 | 3* |
| Central Processamento de Dados | 4 | 1435,40 | 200 | 2** |
| Refeitório | 4 | 1410,10 | 200 | 2** |
| Corredor | 6 | 2036,20 | 100 | 2** |
| Sala OAB | 8 | 1295,40 | 500 | 4 |
| Almoxarifado | 4 | 1018,70 | 200 | 2** |
| Caixa Econômica | 6 | 1184,20 | 500 | 3* |
| Hall entre as varas | 8 | 1041,70 | 100 | 2** |
| Sala de Audiências | 12 | 1451,60 | 500 | 5* |
| Total | 248 | | | 68 |

* Uma das luminárias deve possuir apenas uma lâmpada. Sugere-se que a luminária escolhida seja a mais próxima à fonte de iluminação natural.

** Duas lâmpadas são suficientes ao ambiente, porém é importante que sejam instaladas duas luminárias, com uma lâmpada cada, para que o pré-requisito de iluminação natural seja cumprido.

De maneira global, a sugestão para que o sistema de iluminação alcance o nível máximo de eficiência é a redução de 180 lâmpadas, conforme indica a Tabela 7. As luminárias estão sobrepostas no forro do TRT, deste modo, retirá-las não implicaria em grandes transtornos, já que o procedimento consistiria apenas na remoção dos exemplares desnecessários e no preenchimento da abertura que restaria.

Pós-intervenções, o sistema de iluminação poderia ser classificado em nível “A” de eficiência, afinal a potência total de 3.137,60 W é inferior ao limite exigido pelo nível. Os limites de iluminância continuariam respeitados mesmo com uma redução significativa na potência instalada.

3.2.3 Sistema de condicionamento de ar

O condicionamento de ar ficaria com 22 equipamentos do tipo *split* piso-teto, divididos em 17 ambientes. A Tabela 8 mostra os níveis de eficiência energética de todos os equipamentos.

Tabela 8 - Equivalentes numéricos para certificação

| Capacidade (Btu/h) | Quantidade Equipamentos | Nível de Eficiência | Equivalente Numérico |
|--------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|
| 12000 | 9 | A | 5 |
| 18000 | 1 | B | 4 |
| 24000 | 5 | A | 5 |

Com o resultado apresentado, o sistema de condicionamento classifica-se como nível “A” de eficiência. Escolheu-se manter o aparelho de nível “B”, visto que seu desempenho não compromete o resultado final.

3.3 CERTIFICAÇÃO GLOBAL

Realizou-se a certificação global considerando as modificações sugeridas. Para isso, foram necessários os mesmos procedimentos anteriormente descritos. Assim, aplicando a Equação 1, obtém-se o valor de PT, conforme segue.

$$PT = 0,30 \cdot \left\{ \left(5 \cdot \frac{658,86}{724,33} \right) + \left(\frac{65,47}{724,33} \cdot 5 + \frac{658,86}{724,33} \cdot 0 \right) \right\} + 0,30 \cdot (5) + 0,40 \cdot \left\{ \left(4,93 \cdot \frac{658,86}{724,33} \right) + \left(\frac{65,47}{724,33} \cdot 5 + \frac{658,86}{724,33} \cdot 0 \right) \right\} + 0$$

(Equação 1)

O cálculo resultou na pontuação total 4,95. Deste modo, as sugestões de *retrofit* mostraram resultados satisfatórios, tendo em vista que a edificação foi classificada como nível “A” de eficiência energética.

3.4 ANÁLISE DE CUSTOS

O edifício do TRT foi avaliado de acordo com os Custos Unitários Básicos (CUB), apresentados em outubro de 2013 pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado do Mato Grosso (Sinduscon – MT). Considerada de alto padrão, a edificação foi avaliada conforme indica a Tabela 10.

Tabela 10 - Avaliação da edificação estudada

| CUB (R\$/m ²) | Área da edificação (m ²) | Total (R\$) |
|---------------------------|--------------------------------------|--------------|
| 1.293,23 | 809,33 | 1.046.649,84 |

Para mensurar os investimentos necessários, tanto para o *retrofit* quanto para a situação hipotética das considerações ainda no projeto, foram necessários dois tipos de orçamento: o primeiro baseado em TCPO (2010) e Brasil (2013); e o segundo realizado diretamente com as empresas, locais ou não.

3.4.1 Custos considerando *retrofit* do edifício

A Tabela 11 apresenta os custos para reforma do TRT, visando alcançar nível máximo de eficiência energética.

Tabela 11 - Custo total do *retrofit*

| Intervenções | Custo (R\$) |
|---|--------------------|
| Mão de obra para retirar e reinstalar a cobertura | 12.150,00 |
| Instalação de manta térmica de alumínio | 8.750,00 |
| Pintura da cobertura | 14.600,00 |
| Instalação de brise-soleil nas fachadas oeste e norte | 8.450,00 |
| Troca de interruptores e fiação | 1.380,00 |
| Retirada das luminárias e preenchimento das aberturas | 2.835,00 |
| Mudança nos condicionadores de ar (considerando instalação) | 14.745,00 |
| Total | 62.910,00 |

Os materiais e a mão de obra para realizar as adequações da cobertura foram quantificados pelas composições de TCPO (2013). Os valores unitários foram obtidos nas tabelas de custos e índices da construção civil de Brasil (2013). Para a instalação do brise, o orçamento foi realizado diretamente com as empresas. Buscou-se na internet o modelo mais adequado às características e, então, o orçamento online foi solicitado. O mesmo procedimento foi realizado para o transporte do material. A instalação do brise foi orçada com uma empresa especializada em estruturas metálicas em Sinop.

Para o sistema de iluminação, o orçamento foi realizado em empresas locais. Buscou-se a melhor proposta para as adequações do sistema: redução das luminárias, preenchimento das aberturas que sobriam no gesso e substituição dos interruptores.

O gasto com o sistema de condicionamento de ar foi estimado através de pesquisas em empresas locais. Muitas não apresentavam os itens em estoque, porém comprariam sem o adicional do frete. A instalação dos equipamentos também foi orçada em empresas locais.

3.4.2 Custos considerando a inserção das sugestões ainda na fase de projeto

Caso o projeto inicial tivesse seguido as recomendações propostas neste artigo, o custo para elevar o nível de eficiência seria inferior ao necessário para realização de *retrofit*. A Tabela 12 demonstra os principais fatores e seus custos.

Tabela 12 - Custo para implementar os conceitos ainda no projeto do TRT

| Intervenções | Custo (R\$) |
|--|--------------------|
| Pintura da cobertura | 14.600,00 |
| Instalação de manta térmica de alumínio | 8.750,00 |
| Instalação de brise-soleil nas fachadas oeste e norte | 8.450,00 |
| Quantidade de luminárias (incluindo lâmpadas e instalação) | -15.390,00 |
| Inserção de interruptores e fiação para iluminação natural | 1.380,00 |
| Acréscimo no custo do sistema de condicionamento de ar | -28.100,00 |
| Total | -10.310,00 |

Para atender às necessidades apresentadas pelo RTQ-C, foi necessário incluir alguns materiais ao telhado, a fim de respeitar o valor exigido para transmitância e absorvância térmica da cobertura. Caso esse aspecto tivesse sido levado em conta ainda na fase de projeto, a economia seria significativa, afinal, para instalar a manta térmica, é necessário retirar toda a cobertura e, então, reinstalá-la. Isto é, executar a obra com o isolamento térmico apresentaria o mesmo custo para adquirir os materiais, porém R\$12.150,00 seriam poupados por não precisar intervir na obra pronta.

Para o sistema de iluminação, as sugestões apresentadas nessa pesquisa não apresentariam custo adicional se tivessem sido incluídas ainda no projeto. Pelo contrário: o sistema atenderia às necessidades do RTQ-C, sendo classificado em nível "A" e, mesmo assim, o investimento seria menor.

Isso porque, mesmo com a inserção de materiais (como interruptores mais caros e maior quantidade de fios), a economia com a redução no número de luminárias seria expressiva: R\$ 15.390,00.

O sistema de condicionamento de ar representa a maior economia do estudo. Como o modelo atual apresenta 6 aparelhos de 24.000 Btu/h e 6 de 36.000 Btu/h (além dos 10 equipamentos mantidos neste artigo) e o sugerido pelo estudo apresenta apenas 5 equipamentos de 24.000 Btu/h, a economia seria na aquisição e instalação de 7 aparelhos climatizadores, 1 com 24.000 Btu/h de potência e outros 6 com 36.000 Btu/h. De maneira geral, seriam poupados, então, R\$ 28.100,00.

4 CONCLUSÕES

A discrepância entre a inserção das recomendações na fase de projeto com o *retrofit* do edifício é notável.

Considerar fatores impactantes à eficiência, ainda no projeto da envoltória, apresentou o mesmo custo para aquisição de insumos quando comparado ao *retrofit*. Entretanto, prever esses conceitos e aplicá-los inicialmente implica em economia com mão de obra e desperdício de materiais quando comparado à reforma.

Este artigo mostrou que aplicar conceitos de eficiência energética em edificações, apesar de parecer algo muito distante da realidade mato-grossense, nem sempre implica em acréscimos de custo. Pelo contrário, provou-se que uma edificação pública bastante ineficiente (nível “D”) poderia ter custado 1% menos e apresentado nível máximo de eficiência (nível “A”). Adicionalmente, os resultados mostraram que elevar o nível de eficiência da edificação de “D” para “A”, após a construção, custaria 6,10% do valor do edifício. A principal razão para os resultados encontrados está no superdimensionamento dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003a. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003b. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISSO/CIE 8995-1:2013: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013. 46 p.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Manual de Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C. 2009. 157 p.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010. Requisitos Técnicos da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em: 15 de Abr. 2013.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/anotada/2552381/lei-de-eficiencia-energetica-lei-10295-01>>. Acesso em: 8 mai. 2013.

CHUNG, W.; HUI, Y. V.; MIU LAM, Y. Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings. Applied Energy, v. 83, n. 1, p. 1-14, 2006. Disponível em: < <http://www.amet-me.mnsu.edu/UserFilesShared/SolarWall/Benchmarking/Benchmarking%20the%20energy%20efficiency%20of%20Commercial%20Buildings%20-%20Chung.pdf>> Acesso em: 12 ago. 2013.

INTERACADEMY COUNCIL. Lighting the way: Toward a sustainable energy future. Amsterdam: IAC Secretariat, 2007. 174 p. Disponível em: <<http://www.interacademycouncil.net/File.aspx?id=24548>>. Acesso em: 5 out. 2013.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 1. ed. São Paulo: PW Editores, 1997. V. 1. 192 p.

LUCIANO, A. M. S. Avaliação do desempenho lumínico de uma Edificação Pública sob a ótica do método prescritivo RTQ-C. 2013. 8 p. Artigo (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop.

LUMIBRISE. Modelos de produtos: Lumibrise 84F. 2013. Disponível em: <http://www.lumibrise.com.br/f_lumibrise84f.htm>. Acesso em: 09 set. 2013.

MAGALHÃES, L. C. Orientações Gerais Para Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2001. 53 p.

SERAFIN, R. M. Avaliação da redução do consumo de energia elétrica em função do retrofit do edifício sede da Eletrosul. 2010. 139 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

TAVARES, L. R. Eficiência Energética em Edificações: aplicação do RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – na Cidade de Uberlândia – MG. 2011. 192 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília.

TCPO – Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos. 13 ed. São Paulo: Pini, 2010. 630 p.

TERUEL, T. K. Avaliação do Nível de Eficiência Energética dos Sistemas de Envolvória e Condicionamento de Ar em uma Edificação Pública do Município de Sinop – MT. 2013. 8 p. Artigo (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop.

Planilha Simplificada de Carga Térmica. Desenvolvida pela Universidade Federal de Pelotas. Contribui no cálculo da carga térmica de edificações; foi desenvolvida seguindo exigências da NBR 5410. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CDkQFjAC&url=http%3A%2F%2Fufpel.edu.br%2Ffaurb%2Flabcee%2Fproben%2Fwp-content%2Fthemes%2Ftwentyten%2Fimages%2Fheaders%2FPlanilha_simplificada.xls&ei=o8SKUsTXHsflkAeLooDACg&usq=AFQjCNFnD8LI9eN0TnSKP3ev-m9VNGLRjA&bvm=bv.56643336,d.eW0>. Acesso em: 20 set. 2013.

Transmitância 1.0: versão beta. Desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina. Auxilia na aplicação dos métodos de cálculo de propriedades térmicas de componentes construtivos propostos pelo projeto de normalização em conforto ambiental. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/software/transmitancia>>. Acesso em: 15 mai. 2013.