

RACIONALIZAÇÃO E CONSERVAÇÃO DO USO DA ENERGIA ELÉTRICA NO CAMPUS DE PALMAS UFT

*RATIONALIZATION AND CONSERVATION OF THE USE OF ELECTRICITY ON THE
CAMPUS OF PALMA'S UFT*

Nathália de Almeida Valadares
Mariela Cristina Ayres de Oliveira
Universidade Federal do Tocantins- UFT

RESUMO

A estabilidade da economia juntamente com a melhor distribuição de renda proporciona um aumento do consumo de energia elétrica nas edificações, tanto no Brasil como em países desenvolvidos. Com isso, viu-se a necessidade da criação de novos meios que incentivam a conservação de energia, criando assim, o selo PROCEL EDIFICA e seu manual e regulamento. A aplicação do selo no Bloco 3P, da Universidade Federal do Tocantins (UFT), em Palmas, foi realizada com base no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência de Edifícios Comerciais, de Serviços Públicos (RTQ-C) e pela Norma de Zoneamento Brasileiro, que levam em consideração a temperatura, radiação, umidade e movimento de ar, como variáveis diretamente relacionadas com o conforto térmico. A análise dos edifícios foi realizada através do método prescritivo, onde se avaliou o sistema de condicionamento de ar, o sistema de iluminação e envoltória e pela simulação computacional, nas quais eles recebem a classificação de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). O edifício recebeu classificação final A, pelo método de simulação e B pelo método prescritivo. Com isso percebe-se certa incompatibilidade entre os métodos sugeridos pelo RTQ-C, devido a limitações do modelo prescritivo.

Palavras-chave: Eficiência energética; RTQ-C; UFT.

ABSTRACT

The stability of the economy, experienced in recent decades, combined with better income distribution provides an increase in electricity consumption in buildings, perceivable in Brazil and other countries. This fact led to the create new ways that encourage energy conservation, the seal PROCEL BUILDS and its manual and its Regulation are a result of this. The application of the seal on Bloco 3P, the Federal University of Tocantins (UFT) in Palmas, was based on Regulation Quality Technical buildings Efficiency Level Commercial, Public Service (RTQ-C) and the Zoning Standard Brazil. The metod takes into account the temperature, radiation, humidity and air movement, as variables directly related to thermal comfort. Analysis of the building was done using the prescriptive method, which evaluated the air conditioning system, the lighting system and envelope and by computer simulation in which they receive a rating of A (more efficient) to E (least efficient). The building received final grade A, the simulation method and B by the prescriptive method. Thus you can see certain incompatibility between the methods suggested by RTQ-C, due to limitations of prescriptive model.

Keywords: Energy Efficiency; RTQ-C; UFT.

Recebido em 18/09/2015. Aceito em 24/09/2015. Publicado em 03/12/2015.

INTRODUÇÃO

Após a grande crise energética que o Brasil passou de 1951 a 1956, o país viu a necessidade de investir em energia, pois “o Brasil da década de 1950 queria crescer. Precisava de energia. Em 1957, o Estado construiu a barragem de Furnas, para garantir o necessário aumento de oferta” (Benjamim, 2001a).

Com os investimentos do governo o país implantou um moderno sistema de geração de energia, onde mesmo na seca as hidroelétricas poderiam produzir por mais cinco anos. Junto a esse sistema de reservas também foi implantado a gestão integrada de usinas, que concilia os diferentes regimes pluviométricos para haver maior disponibilidade de energia e evitar desperdício da água represada.

As dificuldades começam quando o consumo passa ser maior que a produção. Neste momento o governo deveria ter construído mais usinas hidroelétricas e ter investido nas já existentes, só então, quando o potencial do país estivesse esgotado, seria implantado as termelétricas. Apesar das estatais terem condições de investir isto não ocorreu porque o governo tinha que reduzir o déficit público, ou seja "estatais federais deixaram de investir cerca de 17 bilhões de reais desde outubro de 1998 por conta das metas de corte dos gastos" (Tolmasquim, 2000).

As privatizações dão início como uma medida de obtenção de recursos imediatos e teve como consequência a transformação da energia elétrica em mercadoria, sendo assim, “as decisões de investimento foram entregues a agentes privados, preferencialmente estrangeiros, que trariam dólares e tecnologias” (Benjamim, 2001b). Por sua vez, os investidores, quando não compravam usinas prontas, preferiam construir termelétricas por ter retorno financeiro mais rápido e por haver incentivo do governo a partir do Plano Prioritário de Termelétricas.

Hoje, as termelétricas são usadas para equilibrar os valores da produção de energia a fim de atender a demanda. Contudo o uso dessa fonte de energia, além de ser mais poluente é mais cara. Sendo assim, o valor para a sua produção influencia diretamente no bolso dos consumidores,

“se o custo variável da térmica mais cara for menor que R\$ 200/MWh, então a Bandeira é verde. Se estiver entre R\$ 200/MWh e R\$ 388,48/MWh, a bandeira é amarela. E se for maior que R\$ 388,48/MWh, a bandeira será vermelha” (ANEEL, 2015).

Sendo assim, o acesso facilitado da população a novas tecnologias, provocado pela estabilidade da economia juntamente com a melhor distribuição de renda, proporcionam um

aumento do consumo de energia elétrica nas edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas. Estes gastos são responsáveis por 50% do consumo do país (Eletrobrás-Procel), ele se refere principalmente às manutenções das edificações e sistemas que proporcionam conforto aos usuários, como os sistemas de iluminação e climatização.

E em 2001, no Brasil, quando houve uma crise energética que deu origem aos chamados "apagões", viu-se a necessidade de estudar meios em que melhorassem a eficiência energética nas edificações e conseqüentemente redução do consumo, sendo assim, foi criado um grupo técnico para sugerir formas de regulamentar as edificações no Brasil e também a Lei nº 10.295, de eficiência energética que fala sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia.

O Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações – PROCEL EDIFICA foi instituído em 2003 pela ELETROBRAS/PROCEL atuando conjuntamente com os Ministérios de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as universidades, os centros de pesquisa e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil.

O principal objetivo do PROCEL é promover o uso racional da energia elétrica em edificações desde sua fundação, sendo que, com a criação do PROCEL EDIFICA, as ações foram ampliadas e organizadas com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação etc.) nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente.

A etiquetagem de edificações é aplicada para construções com uma área total útil mínima de 500m² e/ou tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV, incluindo edifícios condicionados, parcialmente condicionados e não condicionados (Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos- RTQ-C, 2010). Emprega-se como forma de classificação a envoltória, que é composta pelas fachadas e cobertura, abrangendo aberturas envidraçadas e vãos, com o peso de 30% da classificação geral; o sistema de iluminação, podendo ser fornecido para o edifício completo, blocos, pavimentos ou conjunto de salas, tendo peso de 30%; e o sistema de condicionamento do ar, podendo ser fornecido aos mesmos elementos do sistema de iluminação, porém contendo peso de 40%, resultando em níveis de eficiência variáveis de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

Foi provado que se uma edificação usa os critérios do Selo Procel Edifica poderá ter uma economia de 50% no consumo de energia, para novas construções e de 30% para

edifícios já construídos e adequados a proposta do selo, isto quer dizer que se caso as construções já existentes no país fossem adaptadas ao selo, haveria uma economia de 45% do total do consumo no Brasil (EPE/BEN, 2009).

Neste contexto, este projeto propõe a prática de requisitos presentes no Manual para Aplicação do Regulamento RTQ-C, que foi feito com base nas normas da ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers, na AHRI – Air-conditioning, Heating, and Refrigeration Institute, nas ISO 15099, 7730 e 9050 e nas NBR 6689, 5413, 7256, 15215, 15220-2, 15220-3, 15569 e 16401, para a determinação da etiqueta de eficiência energética, com isso, foi realizado métodos de avaliação no Bloco 3P, localizado na Universidade Federal do Tocantins- Campus Universitário de Palmas. Onde se verificou em qual nível de eficiência os sistemas de iluminação, sistema de condicionamento de ar e envoltória se enquadram.

2. METODOLOGIA

Com o intuito de classificar o Bloco 3P (Figuras 1 e 2), de salas de aula, foi usado o método prescritivo, onde avaliou-se o sistema de iluminação, o sistema de condicionamento de ar e a envoltória, primeiro esta avaliação ocorreu de forma separada, em seguida houve a união dos valores dos sistemas e da envoltória para obter a classificação geral. Posteriormente houve a utilização do software S3E a fim de obter a classificação geral, por meio de outra ferramenta.



Figura 1: Fachada do Bloco 3P.
Figure 1: Block 3P facade



Figura 2: Sala de aula no Bloco 3P.
Figure 2: Classroom in 3P Block .

2.1. Método Prescritivo

Separa-se em Sistema de Iluminação, Sistema de Condicionamento de Ar, Envoltória e Determinação da Eficiência Final, de acordo com os itens 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3 e 2.1.4, respectivamente.

2.1.1. Sistema de Iluminação

Por meio da análise e da coleta de dados no Bloco 3P foi possível identificar qual o tipo, quantidade e as características das luminárias e das lâmpadas presentes nas sala de aula, sala técnica para rack, banheiros, depósitos e circulação.

A atividade predominante no edifício é sala de aula, que ocupa mais de 30% da edificação, sendo assim ele se enquadra na função Escola/Universidade (Tabela 1). Sendo assim foi usado o método das áreas para determinar qual é o nível de eficiência, este consiste na avaliação conjunta de todos os ambientes a fim de alcançar um valor único para a avaliação do nível de eficiência da iluminação.

Para a avaliação foi preciso seguir as seguintes etapas até obter o resultado, são elas:

- Identificação da principal atividade da construção e a DPI_L para cada nível de eficiência, seguindo a tabela 4.1 presente no anexo da Portaria do INMETRO nº 395/2010

ANEXO DA PORTARIA INMETRO nº 372 / 2010

Tabela 4.1: Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_L) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício

Função do Edifício	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m^2 (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m^2 (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m^2 (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m^2 (Nível D)
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Armazém	7,1	8,2	9,2	10,3
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Bombeiros	7,6	8,7	9,9	11,0
Centro de Convenções	11,6	13,3	15,1	16,8
Cinema	8,9	10,2	11,6	12,9
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6
Venda e Locação de Veículos	8,8	10,1	11,4	12,8
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1

- Como as salas de aula tem uma área igual a $60,20m^2$ e $59,67m^2$, as circulações $347,38m^2$, as salas técnicas para rack $7,26m^2$, os depósitos de mobiliário e equipamentos $7,26m^2$ e o banheiro $24,03m^2$, foi possível determinar a área iluminada, sendo executada por meio a somatória de todas as áreas dos ambientes.

Também nesta etapa foi possível determinar a potência instalada total, que é a somatória das potências instaladas dos ambientes.

A partir da relação entre as dimensões dos ambientes, que corresponde ao índice de ambiente (K), foi possível encontrar a iluminância final de cada ambiente.

- Em seguida foi feito a multiplicação da área iluminada pela densidade de potência de iluminação (DPI_L), presente na tabela 4.1, onde se encontrou a potência-limite para cada nível.
- A potência total instalada no edifício foi comparada com a potência-limite para determinar o nível de eficiência do sistema de iluminação;
- Verificou o atendimento aos pré-requisitos em todos os ambientes.

2.1.2. Sistema de Condicionamento de Ar

Foi executada a avaliação no local do edifício construído, para que fosse possível obter as características dos condicionadores de ar tipo split. Em seguida foi feito cálculos para determinar a eficiência em vários ambientes, onde se usou as áreas dos ambientes, os níveis de eficiência das unidades e o equivalente numérico, tornando possível chegar ao coeficiente de ponderação e ao nível de eficiência do sistema.

2.1.3. Envoltória

Para a determinação da envoltória primeiramente foi verificado se o Bloco 3P atende aos pré-requisitos, são eles: transmitância térmica, absorvância e abertura zenital, seguindo os exemplos presentes na NBR 15220-2-ABNT 2005 e no Projeto 02:135.07-001/2-ABNT 2003.

Para a transmitância térmica considerou o edifício executado em tijolo cerâmico de seis furos com reboco, emassamento e pintura acrílica. Com base no exemplo 3 da norma e do projeto já citados, calculou-se a resistência térmica do concreto e da parede, o que tornou possível chegar a resistência térmica total e conseqüentemente ao valor correspondente a transmitância térmica.

O cálculo da absorvância foi feito a partir das áreas de cada fachada do bloco e suas respectivas cores, porém desconsiderando as áreas das aberturas, da caixa d'água e do brise. Após encontrar a área correspondente a cada cor foi feito duas tabelas, uma correspondente às fachadas e a outra à cobertura, contendo a somatória das áreas, por cores, o valor de

absortância de cada cor, a ponderação¹ e o valor total, sendo que a somatória deste corresponde ao valor final.

Após a determinação dos pré-requisitos da envoltória foi comparado, por meio de tabela, os valores de transmitância térmica e absortância encontrados com os limites propostos para os níveis de A a D.

Antecedendo a determinação do Indicador de Consumo da envoltória (ICenv) foi preciso calcular o valor das seguintes variáveis: área de projeção da cobertura (Acob); área de projeção do edifício (Ape); área total de piso (Atot); área útil (Aútil), correspondente a área de piso subtraindo a área das paredes; área da envoltória (Aenv), somatória das áreas das fachadas adicionado da área da cobertura; ângulo vertical de sombreamento (AVS), valor encontrado por meio de tabelas; ângulo horizontal de sombreamento (AHS), valor adquirido através de tabelas; fator de forma (FF), é a Aenv dividido pelo volume total; fator de altura (FA), equivalente a Acob dividido pela Atot; fator solar (FS), usa-se a formula $FS = 4 \times U \times \alpha$ para encontra-lo e ele varia conforme a cor da edificação, sendo necessário fazer a ponderação para encontrar o valor final; percentual de abertura na fachada (PAFt), somatória das áreas da abertura da fachadas dividido pela somatória das áreas das fachadas menos a área da caixa d'água; percentual de abertura zenital (PAZ); e volume total da edificação (Vtot).

Tendo os valores dessas variáveis e considerando a edificação localizada em Palmas, Tocantins, ou seja, zona bioclimática sete, foi possível calcular o ICenv a partir da equação 3.7 ou 3.8, dependendo do valor de Ape, presente no RTQ-C para a região em questão.

Após encontrar o valor de ICenv calculou o valor de IC mínimo e máximo para o nível D e o intervalo de mudança de um nível a outro (i), tornando possível calcular os limites de cada nível para que fosse determinado a classificação do Bloco 3P para a envoltória.

2.1.4. Determinação da Eficiência Final

Para a determinação da eficiência final o sistema de iluminação recebeu peso de 30%, a envoltória de 30% e o sistema de condicionamento de ar de 40%. O nível de classificação de cada parte recebeu um equivalente numérico correspondente à classificação que obteve. Assim, os pesos foram distribuídos pela equação 2.1 do RTQ-C, e em seguida o resultado foi comparado com a tabela 2.2 do RTQ-C, para definir a classificação geral.

¹ Ponderação: porcentagem que uma área representa no resultado final.

2.2. Simulação

O processo de simulação avalia o desempenho energético de uma edificação. Ele não descarta o método prescritivo. Em certos casos quando o método prescritivo não representa os edifícios de modo correto, a simulação também é usada.

Assim como o método prescritivo, a simulação também apresenta pré-requisitos. Eles variam de acordo com o programa e o arquivo climático utilizado para a simulação. Seu objetivo é alcançar resultados adequados.

Para a simulação da presente pesquisa foi usado o Projeto S3E, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina. Ele objetiva facilitar o acesso da simulação, por meio da internet.

A avaliação do edifício ocorre pela comparação de um modelo real com quatro modelos de referência, cada um dos quatro representa um nível de eficiência. O funcionamento do S3E se dá da seguinte forma: o usuário abastece o sistema com dados e com eles o EnergyPlus executa a simulação, em seguida a ENCE avalia os resultados para a etiquetagem.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Divide-se os resultados conforme os métodos prescritivo e simulação computacional, respectivamente representados pelos itens 3.1 e 3.2, para assim obter resultados mais concisos. Contudo o Método Prescritivo se subdivide nos itens 3.1.1 Sistema de Iluminação, 3.1.2 Sistema de Condicionamento de Ar, 3.1.3 Envoltória e 3.1.4 Determinação da Eficiência Final.

3.1. Método Prescritivo

3.1.1. Sistema de Iluminação

A partir da análise e coleta de dados *in loco* do Bloco 3P foi possível identificar que cada sala de aula, sala técnica para rack e banheiros são compostos por luminárias com refletor e aletas de alumínio e capacidade para duas lâmpadas tubulares T-10², sendo que cada lâmpada tem potência de 32W e fluxo luminoso de 2.800lm, o reator³ é eletrônico e apresenta perda de 8,2W.

² Foi considerado as lâmpadas tubulares da marca Empalux.

³ Foi considerado o reator da marca Philips, modelo Basic T5.

As luminárias, com refletores, dos corredores, das escadas e dos depósitos de mobiliário e equipamentos comportam duas lâmpadas fluorescentes compactas⁴ e apresentam potência igual a 18W e fluxo luminoso de 1.100lm.

Fazendo uso da Equação 1 e utilizando os dados obtidos na análise *in loco* da iluminação presente nas salas de aula, na sala técnica para rack e nos banheiros, obteve a potência total, por luminária, de 72,20W. Já nos corredores, nas escadas e nos depósitos de mobiliário e equipamentos o resultado para a potência total foi de 36W.

Equação 1: Potência total, por luminária.

Equation 1: Total power per lamp.

$$[(\text{número de lâmpadas} \cdot \text{potência da lâmpada}) + \text{perdas do reator}]$$

A partir da somatória das áreas dos ambientes foi possível determinar a área iluminada, chegando a um total de 3.516,90m². Nesta etapa também foi executada a determinação da potência instalada total, somando as potências do banheiro, 144,40W, das salas de aulas tipo 1, 866,40W, das salas de aula tipo 2, 866,40W, sala para rack, 72,20W, depósitos, 36,0W, escada, 432,00W e da circulação, 1.224,00W, resultando em um total de 37.349,40W.

O índice de ambiente (K) das salas tipo 1 foi de 1,73, das salas tipo 2 1,74, rack 0,6, depósito 0,58, escada 1,14 e 1,57 do banheiro, com esses valores foi possível encontrar a iluminância final dos ambientes, são elas: 323,78lx, 321,88lx, 501,37lx, 98,48lx, 267,99lx e 101,75lx correspondente a sala de aula tipo 1, sala de aula tipo2, rack, depósito, banheiro e escada, respectivamente. Posteriormente foi multiplicada a área iluminada pela DPI_L, como mostra a Tabela 2 a seguir:

Tabela 1: DPI_L (W/m²) e Potência limite.

Table 1: DPI_L (W / m²) and power limit.

Ambiente	Atividade principal	Área (m ²)	DPI _L x área total iluminada= potência limite				Pot. Inst (W)	EqNum
			A	B	C	D		
Sala de aula - Tipo 1	Sala de aula	59,67	608,63	730,36	852,09	973,81	866,40	-
Sala de aula - Tipo 2	Sala de aula	60,02	612,20	734,64	857,09	979,53	866,40	-
Rack	Casa de máquinas	7,26	52,27	62,73	73,18	83,64	72,20	-
DML	Depósito	7,26	43,56	52,27	60,98	69,70	36,00	-
Banheiro	Banheiro	24,03	120,15	144,18	168,21	192,24	144,40	-
Escada	Escada	43,50	321,90	386,28	450,66	515,04	432,00	-
Circulação	Circulação	347,38	2466,40	2959,68	3452,96	3946,24	1224,00	-
TOTAL	-	549,12	4225,12	5070,14	5915,17	6760,19	3641,40	5,00

⁴ Considerou-se as lâmpadas compactas duplas presente no catálogo da OSRAM.

Sendo a potência total instalada, no Bloco 3P, igual a 3.641,40W e comparando ela com a potência limite encontrada em cada nível, percebe-se que a potência instalada não ultrapassa o limite do nível A, o que torna esta a sua classificação.

Com relação ao atendimento aos pré-requisitos, todos os ambientes atendem apenas ao pré requisito que diz respeito a divisão de circuitos, sendo assim são classificados como nível C, com EqNum igual a três.

Entretanto nota-se que o nível que atende ao pré-requisito não é o mesmo encontrado quando comparado à potência total instalada no edifício com a potência-limite, portanto fez-se necessário executar uma ponderação entre a potência instalada e o nível de eficiência dos ambientes que não atenderam aos pré-requisitos para o nível encontrado no item anterior.

A ponderação é feita por meio da contribuição do conjunto de ambientes com a sua potência instalada, para a classificação final do sistema. Ela é feita através da seguinte equação:

Equação 2: Ponderação
Equation 2: Weighting

$$Ponderação = \frac{Potência\ do\ ambiente}{\sum Potências}$$
$$Resultado = \sum (Ponderação \cdot EqNum)$$

Aplicando estas equações para cada ambiente obteve o seguinte resultado:

Tabela 2: Ponderação e classificação final do sistema.
Table 2: Weighting and final classification system.

Ambiente	Potência Instalada de Iluminação (W)	Ponderação	Atende ao nível	EqNum	EqNum x Pond.
Sala de aula - Tipo 1	866,40	0,24	C	3	0,71
Sala de aula - Tipo 2	866,40	0,24	C	3	0,71
Rack	72,20	0,02	C	3	0,06
DML	36,00	0,01	C	3	0,03
Banheiro	144,40	0,04	C	3	0,12
Escada	432,00	0,12	C	3	0,36
Circulação	1224,00	0,34	C	3	1,01
Total	3.641,40	1,00	-	-	3,00

A somatória do resultado desta ultima equação, para todos os ambientes, nos proporciona um EqNum igual a três, o que corresponde ao nível C, sendo assim o edifício em estudo recebe a classificação geral para a iluminação igual a C.

3.1.2. Sistema de Condicionamento de Ar

O Bloco 3P é composto por 36 salas de aula, cada sala é composta por duas unidades de condicionadores de ar tipo split, como mostra na Figura 3. Das 36 salas, 24 possuem dois tipos de condicionadores, um da marca Fujitsu, modelo ABBA36LCT e potência 32.000Btu/h, e o outro, da marca Carrier, modelo 42LVQC12C5 e potência de 12.000Btu/h, todos os apresentavam a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE e o mesmo nível na classificação geral, nível A (Figura 4), o que tornou desnecessário a execução de cálculos. O restante das salas também possuem duas unidades de condicionadores de ar tipo split, análogas, porém a ENCE com nível B, da marca Carrier, modelo 42LUCC22C5 e potência de 22.000Btu/h.



Figura 3: Sala de aula no Bloco 3P, localização do sistema de condicionamento de ar.
Figure 3: Classroom in 3P Block, location of the air conditioning system.



Figura 4: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia presente em um modelo de condicionadores de ar do Bloco 3P.

Figure 4: National Energy Conservation Label present a model of the 3P block air conditioners.

A fim de obter a determinação da eficiência de um conjunto de ambientes foi preciso encontrar a área que cada unidade atende, para calcular a média de eficiência dos ambiente e em seguida ponderar por área, como mostra a Tabela 4.

Tabela 3: Determinação de eficiência de conjunto de ambientes.

Table 3: Assembly environments efficiency determination .

Ambiente	Área (m ²)	Eficiência da unidade	EqNum	Coefficiente de ponderação	Resultado ponderado
Sala de aula - tipo 1	59,67	A	5	0,25	1,24
Sala de aula - tipo 1	59,67	B	4	0,25	1,00
Sala de aula - tipo 2	60,20	A	5	0,25	1,26
Sala de aula - tipo 2	60,20	B	4	0,25	1,00
TOTAL	239,74	-	-	1,00	4,50

O resultado obtido foi comparado com a tabela 2.2 do RTQ-C, onde notou-se que se adequa aos intervalos para o nível A, $5 > 4,5 \geq 4,5$. A edificação em estudo atende ao único pré-requisito, que diz respeito ao sombreamento da unidade condensadora do sistema split. Sendo assim o sistema de condicionamento de ar permanece com a classificação A.

3.1.3. Envoltória

Nos cálculos para verificar se o Bloco 3P atende aos pré-requisitos primeiro calculou-se a resistência da cerâmica ($R_{cerâmica}$), onde foi considerado o exemplo 3 da NBR 15220-2-ABNT 2005 e do Projeto 02:135.07-001/2-ABNT 2003, apresentando o valor é igual a 0,2321 m²K/W. Em seguida foi avaliada a resistência térmica da parede (R_t), alcançando o valor igual a 0,2461 m²K/W. O valor encontrado para a resistência térmica total (R_T) foi de 0,4161 m²K/W, este foi usado na fórmula ($U=1/ R_T$) para obter o valor da transmitância térmica (U), resultando em 2,4029 m²K/W.

Para a avaliação da absorvância foi usada a tabela B2 do Projeto 02:135.07-001/2-ABNT 2003 para encontrar o valor de absorvância das cores, em seguida feito o cálculo das fachadas e da cobertura conforme as cores resultando na Tabela 5, onde mostra os valores finais:

Tabela 4: Absortância das fachadas e da cobertura.

Table 4: Absorptance of the facades and roof.

Fachadas				
Cor	Áreas	Absortância	Ponderação	Total
Verde Claro	431,45	0,40	0,16	0,06
Amarelo	821,22	0,30	0,31	0,09
Branco	1439,67	0,20	0,53	0,11
Total	2692,34	-	-	0,26

Cobertura				
Cor	Áreas	Absortância	Ponderação	Total
Alumínio	1433,99	0,40	1,00	0,40
Total	1433,99	-	-	0,40

Os valores encontrados acima foram usados para verificar se atendem aos limites dos níveis de A a D, para isso foi executada a Tabela 6, onde mostra que o Bloco 3P só atende aos pré-requisitos de transmitância térmica da parede e absorbância da cobertura e das fachadas.

Tabela 5: Comparativo entre os valores limites dos níveis de A a D e os valores encontrados.

Table 5: Comparison between the limits of the levels A through D values and the values found .

		Valores encontrados	Nível A	Nível B	Nível C e D
Transmitância (W/m ² K)	Parede	2,40	3,70	3,70	3,70
	Cobertura	Verão	1,00	1,50	2,00
		Inverno			
Absortância	Fachadas	0,26	0,50	0,50	X
	Cobertura	0,40			
Abertura zenital		Não possui	X	X	X

Antes da determinação da eficiência da envoltória obtive-se os seguintes resultados: $A_{cob}=1.477,23m^2$; $A_{pe}=1.477,23m^2$, por ser somente um pavimento; $A_{tot}=4.431m^2$; $A_{útil}=3.498,51m^2$, subtraindo-se as paredes da A_{tot} ; $A_{env}=4.169,57m^2$; $FF= 0,27$; $FA=0,10$; FS da parede branca= 1,92%, FS da parede verde clara= 0,03%, FS da parede amarela=0,02, $FStot=3,09\%$; $PA_{ft}=0,04\%$; o Bloco 3P não possui abertura zenital, e conseqüentemente não possui PAZ ; $V_{tot}=14.301,62m^2$; os valores de AVS e AHS são iguais a 45° .

Como a área de projeção do edifício (A_{pe}) é maior que $500m^2$, então usa-se a equação 3.8 presente no RTQ-C, abaixo representada pela Equação 3.

Equação 3: Cálculo ICenv para a Zona Bioclimática 7. (RTQ-C, 2010)
Equation 3: ICenv Calculation for Bioclimatic Zone 7. (RTQ -C , 2010)

$$ICenv = -69,48.FA + 1347,78.FF + 37,74.PAFt + 3,03.FS - 0,13.AVS - 0,19.AHS + \frac{19,25}{FF} + 0,04 \cdot \frac{AHS}{(PAFt.FS)} - 306,35$$

Usando a equação 3.8 obteve-se um índice de consumo da envoltória igual a 133,37, porém ele é um valor numérico e para a obtenção da classificação de eficiência foi necessário estabelecer limites numéricos para cada nível. Primeiro foi calculado o ICmax para o nível D utilizando a equação 3.8, porém com os seguintes parâmetros: PAFt= 0,60, FS= 0,61, AVS= 0 e AHS= 0, obtendo 146,38 como resultado, depois o ICmim, com os parâmetros para PAFt= 0,05, FS= 0,87, AVS= 0 e AHS= 0, resultando em 126,41 e por último o i igual a 4,99. Em seguida usa-se a Tabela 3.4 do RTQ-C para calcular os limites, obtendo a Tabela 7 como resultado.

Tabela 6: IC mínimo e máximo para cada nível.
Table 6: IC minimum and maximum for each level

IC mínimo e máximo para cada nível		
Níveis de eficiência	Limite mínimo	Limite máximo
A	-	131,41
B	131,42	136,40
C	136,41	141,39
D	141,40	146,38
E	146,39	-

Conforme a Tabela 7 o nível de eficiência do edifício é B, pois o valor encontrado para o indicador de consumo da envoltória está no intervalo $131,42 < 133,37 < 136,40$.

3.1.4. Determinação da Eficiência Final

Como o sistema de iluminação recebeu a classificação C, o sistema de condicionamento de ar A e a envoltória B, os equivalentes numéricos utilizados correspondem, respectivamente, 3, 5 e 4. Eles foram usados na equação 2.1, presente no RTQ-C e abaixo demonstrada pela Equação 4, para a determinação pontuação total (PT) do

edifício, obtendo um resultado igual a 4,21. Este resultado foi comparado com a Tabela 2.3 do RTQ-C para determinar em quais intervalos o PT se adequa.

Equação 4: Cálculo para determinação da PT. (RTQ-C, 2010)
Equation 4: Calculation for determination of PT. (RTQ -C , 2010)

$$PT = 0,30 \left\{ \left(EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + 0,30 (EqNumDPI) + 0,40 \left\{ \left(EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \cdot 0,5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + b_0^1$$

Portanto o Bloco 3P, presente na Universidade Federal do Tocantins, no Campus Universitário de Palmas, recebe a classificação geral B, por ter pontuação total que se enquadram nos intervalos $4,5 > 4,21 > 3,5$.

3.2. Simulação

Os dados utilizados para a alimentação do sistema foram os mesmos obtidos pelo método prescritivo, com exceção de alguns utilizados para a avaliação do condicionamento de ar, onde foram fornecidos pelo fabricante dos condicionadores de ar, também foi calculado a ocupação, obtendo um resultado igual a 2,53 m²/possoa.

Após alimentar o sistema do S3E, o simulador forneceu uma classificação A (Figura 5) para o bloco 3P, pois os resultados obtidos para o bloco 3P, pela simulação, foram menores do que os valores do modelo de referência para o nível A, como mostra a figura 6.

O software é de fácil manipulação e que ele apresenta bastante opção, quanto aos materiais, só houve dificuldade em encontrar o componente construtivo empregado para a vedação das aberturas, sendo assim foi usado o componente com as características que mais se aproxima do que está presente na construção.

Etiqueta



Figura 5: Etiqueta.

Figure 5: Label.



Figura 6: Consumo de energia (kWh/ano)

Figure 6: Power consumption (kWh / year)

4. CONCLUSÕES

O Bloco 3P é composto principalmente por salas de aula de tamanhos semelhantes. A iluminação das salas de aula é totalmente artificial, por mais que tenha aberturas suficientes para iluminá-las por completo. Também são usados, aproximadamente, das oito horas às vinte e duas horas, aparelhos de condicionamento de ar tipo split. O edifício apresenta brises que são capazes de proteger as janelas dos raios solares e os condensadores dos splits, assim, melhoram o conforto térmico dentro das salas.

Após o estudo do Bloco 3P e execução de cálculos, foi possível obter a seguinte classificação pelo método prescritivo: C para o sistema de iluminação, A para o sistema de condicionamento de ar e B para a envoltória. Com essas classificações o edifício de salas de aula recebe a classificação geral B. Já a simulação forneceu a classificação A, para o bloco.

Conforme o resultado obtido pelo método prescritivo, e comparando obtido pela simulação, é possível perceber que houve divergência nos resultados, onde o primeiro recebeu a classificação B e o segundo A. A utilização do simulador S3E facilita o acesso da população a este tipo de software permitindo que mais edificações utilizem o Selo PROCEL EDIFICA e apresentem maior economia no uso da energia elétrica, assim torna possível a redução e o consumo de energia elétrica do país, evitando casos como o "apagão" de 2001.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica. 2015. *Bandeiras Tarifárias*. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=758>. Acesso em: 16/09/2015.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. ASTM E1918-06 *Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-Sloped Surfaces in the Field*, West Conshohocken, PA.
- _____. ASTM E1918-06 *Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres* (Withdrawn 2005).
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 74-1988 - *Method of Measuring Solar Optical Properties of Materials*.
- _____. ANSI/ARI/ASHRAE/ISO Standard 13256-1:1998: *Water-source Heat Pumps Testing and Rating for Performance Part 1: Water-to-air and Brine-to-air Heat Pumps*. Atlanta, 1998.
- _____. ANSI/ARI/ASHRAE/ISO Standard 13256-2:1998: *Water-source Heat Pumps Testing and Rating for Performance Part 2: Water-to-water and Brine-to-water Heat Pumps*. Atlanta, 1998.
- _____. ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-1999: *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta, 1999.
- _____. ASHRAE Standard 55 - 2004. *Thermal Environment Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, 2004.

- _____. ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004: *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta, 2004.
- _____. ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 - *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*.
- _____. *Handbook of Fundamentals*, 2005. Atlanta, 2005.
- _____. ANSI/ASHRAE Standard 146-2006 - *Method of Testing and Rating Pool Heaters*
- _____. ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007: *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta, 2007.
- AHRI – AIR-CONDITIONING, HEATING, AND REFRIGERATION INSTITUTE.
- ANSI/AHRI Standard 560 – 2000: *Absorption Water Chilling and Water Heating Packages*.
- _____. ANSI/AHRI Standard 210/240 - 2003: *Performance Rating of Unitary air-conditioning and air source heat pump equipment*.
- _____. AHRI 550/590-2003: *Performance Rating of Water Chilling Packages Using the Vapor Compression Cycle*. Arlington, 2003.
- _____. ANSI/AHRI 460-2005: *Performance Rating of Remote Mechanical Draft Air Cooled Refrigerant Condensers*.
- _____. ANSI/AHRI Standard 340/360 – 2007: *Performance Rating of Commercial and industrial unitary air-conditioning and heat pump equipment*.
- _____. AHRI 1160-2009: *Performance Rating of Heat Pump Pool Heaters*.
- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT. NBR 6488 - *Componentes de construção - Determinação da condutância e da transmitância térmica - Método da caixa quente protegida*. Rio de Janeiro, 1980.
- _____. NBR 6689 - *Requisitos gerais para condutos de instalações elétricas prediais*. Rio de Janeiro, 1981.
- _____. NBR 5413 – *Iluminância de Interiores*. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. NBR 5410 – *Instalações elétricas de baixa tensão*. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. NBR 7256 - *Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) - Requisitos para projeto e execução das instalações*. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. NBR 15215 – *Iluminação natural*. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. NBR 15220-2 - *Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações*. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. NBR 15220-3 - *Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. NBR 15569 - *Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e instalação*. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. NBR 16401 - *Instalações de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários*. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. PROJETO 02:135.07-001/2 – *Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações*, Rio de Janeiro, 2003.
- BENJAMIN, C. 2001. *Foi loucura, mas houve método nela: gênese, dinâmica e sentido da crise energética brasileira*.
- CARLO, J C. 2008. *Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais*. Florianópolis, SC. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 215 p.
- CTI ATC – 105 -97 – Acceptance Test Code for Water Cooling Towers.

CTI Standard 201-96 – Standard for Certification of Water Cooling Tower Thermal Performance.

D'ARAUJO, R P. 2015. *Da superfície para as profundezas: Um modelo com defeitos genéticos – Artigo que tenta explicar a crise*. Disponível em: <http://ilumina.org.br/da-superficie-para-as-entranhas-um-modelo-com-defeitos-geneticos/>. Acesso em: 16/09/2015.

EMPALUX. *Catálogo*. Disponível em <http://www.empalux.com.br/> (acesso em 17 de março de 2013).

Empresa de Pesquisa Energética. 2009. *Balanco Energético Nacional*. Rio de Janeiro.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. ISO 9050. *Glass in building - Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors*. Geneve, Switzerland, 2003.

_____. ISO 15099. *Thermal performance of windows, doors and shading devices - etailed calculations*. Geneve, Switzerland, 2003.

_____. ISO 7730. *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Geneve, Switzerland, 2005.

NFRC 201:2004. *Procedure for Interim Standard Test Method for Measuring the Solar Heat Gain Coefficient of Fenestration Systems Using Calorimetry Hot Box Methods*. National Fenestration Rating Council. USA, 2004.

Portaria INMETRO/MDIC no 215, de 23 de julho de 2009. Aprovar a revisão dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para Condicionadores de Ar.

Anexo da portaria INMETRO no 395/ 2010 requisitos de avaliação da conformidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos.

OSRAM. *Catálogo. Lâmpadas fluorescentes tubulares e circulares*. Disponível em http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_%26_Catlogos/Downloads/Iluminacao_Geral/Catalogo_Geral_2012/index.html. Acesso em: 17/03/2013).

PHILIPS. *Catálogo. Reator Basic T5*. 2012. Disponível em: http://www.ecat.lighting.philips.com.br/l/reatores/fluorescentes/reatores-eletronicos/basic-t5/913711119301_eu/#pdp_leaflets_anchor. Acesso em: 09/03/2013.

TOLMASQUIM, M. 2000. *As Origens da Crise Energética Brasileira*. Ambiente & Sociedade. Ano III. No 6/7. 179-183.

Nathália de Almeida Valadares

Atualmente é estudante de Arquitetura e Urbanismo pela Fundação Universidade Federal do Tocantins- Campus Universitário de Palmas e bolsista pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica-PIBIC.

E-mail: nathaliavaladares@hotmail.com

Endereço: Universidade Federal do Tocantins - Avenida NS 15, 109 Norte - Plano Diretor Norte - Palmas - TO, 77001-090

Mariela Cristina Ayres de Oliveira

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (2000), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (2003) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (2009). Professora Adjunto da Fundação Universidade Federal do Tocantins.

E-mail: mariela@uft.edu.br

Endereço: Universidade Federal do Tocantins - Avenida NS 15, 109 Norte - Plano Diretor Norte - Palmas - TO, 77001-090