IMPACTO ECONÔMICO DO COP E DA ORIENTAÇÃO EM EDIFICAÇÃO ESCOLAR SITUADA EM MACEIÓ-AL.

Mara Araújo (1); Fernando Sá Cavalcanti (2); Leonardo Bittencourt
(1) Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, mara.araujo@fau.ufal.br, Cidade Universitária – Campus A. C. Simões. Tabuleiro do Martins. CEP 57072 970 – Maceió – AL Tel: +55 82 3214 1283
(2) Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, fernando.antonio@fau.ufal.br, Cidade Universitária – Campus A. C. Simões. Tabuleiro do Martins. CEP 57072 970 – Maceió – AL Tel: +55 82 3214 1283
(3) PhD, Arquiteto e Urbanista, lsb54@hotmail.com, (82) 99919-8009 Campus A.C. Simões, Cidade Universitária, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, CEP 57.072-970, Maceió/AL, Brasil.

RESUMO
O objetivo do estudo foi investigar o impacto econômico no consumo de energia elétrica em função da variação da orientação de uma edificação escolar na cidade de Maceió/AL e do coeficiente de performance (COP) de aparelhos condicionadores de ar. Em algumas regiões quentes e úmidas, particularmente em Maceió/AL, muitas edificações são construídas de modo único, quer sejam ventiladas naturalmente ou climatizadas de forma artificial. Diante desse cenário, os parâmetros acima mencionados foram simulados no *EnergyPlus* para temperaturas no intervalo entre 21°C e 28°C, definidas segundo critérios adotados pela Instituição de ensino analisada. Os resultados apontaram para a economia no consumo de energia de até 14% para fachadas orientadas a norte e sul e de até 34% para a variação do COP. Tais resultados reforçam o impacto gerado pela adequada implantação do edifício no lote bem como na especificação técnica de aparelhos condicionadores de ar, de forma a promoverem o conforto térmico através do uso racional de energia elétrica.

Palavras-chave: conforto térmico, desempenho térmico, *EnergyPlus*.

ABSTRACT
The objective of the study was to investigate the economic impact on the consumption of electric energy as a function of the variation in the orientation of a school building in the city of Maceió/AL and the coefficient of performance (COP) of air conditioners. In some hot and humid regions, particularly in Maceió/AL, many buildings are built in a unique way, whether they are naturally ventilated or artificially heated. Given this scenario, the aforementioned parameters were simulated in EnergyPlus for temperatures in the range between 21°C and 28°C, defined according to criteria adopted by the analyzed educational institution. The results pointed to savings in energy consumption of up to 14% for facades facing north and south and of up to 34% for the COP variation. Such results reinforce the impact generated by the adequate implantation of the building in the lot as well as in the technical specification of air conditioners, in order to promote thermal comfort through the rational use of electric energy.

Keywords: thermal comfort, thermal performance, EnergyPlus,

1. INTRODUÇÃO

Em tempos de industrialização, o conforto térmico foi tido como um produto entregue através de dutos e produzido por máquinas (NICOL; ROAF, 2017). Hoje, com o elevado custo da energia, o impacto da climatização artificial passou a ser questionado (SOUSA; LEDER, 2019). Na busca pela determinação de parâmetros ambientais, concomitantemente entra em discussão o consumo de energia elétrica.

Para Nicol (2007), edifícios termicamente desconfortáveis, além de interferirem na saúde e bem-estar dos usuários, acarretam na adoção de estratégias que comprometem a economia de energia da edificação. Torna-se imprescindível, portanto, que as decisões de projeto sejam previamente elaboradas com base nas questões climáticas e de entorno, pois sua ausência pode acarretar em soluções irreversíveis para o conforto ambiental de forma passiva. Quanto à orientação de uma edificação, Heywood (2017), afirma que "a implantação e orientação de um prédio é imutável uma vez que ele foi construído, ao passo que suas vedações podem ser aprimoradas com o acréscimo de isolamento ou como resposta à disponibilização de novas tecnologias". Dessa forma, cria-se a expectativa por intervenções que garantam melhores condições climáticas locais o que, na maioria das vezes, ocorre com desperdício de energia.

O relatório do estudo anual da BP – *Statistical Review of World Energy* (ABREU, 2018) mostrava em 2017 um consumo de energia mundial crescente em 2,2%, em relação a 2013, com um aumento de 3% no consumo de gás natural. Em 2022, o relatório trouxe dados com uma forte recuperação no consumo de energia primária global em 2021, aumentando quase 6% em relação a queda obtida em 2020 com grande parte do mundo isolado pela Covid-19 (DALE, 2022)

De acordo com a ABRAVA, entre 2012 e 2013, as vendas de aparelhos de ar condicionado do tipo Splits aumentaram em 35% e em 15% os modelos de janela, tendo sido comercializados 4,3 milhões de condicionadores de ar para o setor residencial (ABRAVA, 2014). Em 2022, segundo o Boletim Econômico ABRAVA, o setor de vendas de aparelhos de ar condicionado aguardava novo crescimento após a retomada das atividades de serviços pós-pandemia.

Segundo o Dr. Fatih Birol, para a Cubi Energia (2018), o consumo energético do ar-condicionado é considerado um dos maiores pontos cegos no cenário da eficiência energética global. Isso porque a projeção é de que, em 2050, cerca de 70% dos lares do planeta tenham pelo menos um condicionador de ar. Ainda de acordo com Dr. Fatih Birol, no Brasil, a estimativa é de um crescimento de 27 milhões de unidades em operação, em 2018, para 165 milhões, em 2050. Com esse aumento, o ar-condicionado é apontado como responsável pelo maior crescimento na demanda energética total de edificações até 2050.

O crescimento acelerado de ambientes refrigerados implica, segundo C), na liberação de gases hidrofluorcarbonos (HFC) mais potentes do que o dióxido de carbono (CO2) em aprisionar gases de efeito estufa na atmosfera, apontados como responsáveis pelo aquecimento global. Tal efeito reflete no aumento considerável do consumo de energia elétrica e a consequente escassez de recursos naturais.

Além disso, o exagerado desperdício de energia provoca um número significativo de reclamações em edificações comerciais pelo desconforto térmico (ASHRAE, 2017), que pode ser agravado com a utilização dos sistemas centrais, pois na maioria dos casos apresentam um resfriamento exagerado no verão e aquecimento desnecessário no inverno (KEITH et al., 2006; VAN MARKEN LICHTENBELT, 2011 apud VECCHI, 2015).

Segundo estudos de Wan et al. (2009), a umidade relativa exerce mais influência sobre a sensação de conforto que a temperatura interna, concluindo que o consumo de energia em edifícios com ar-condicionado poderia ser reduzido com o controle dessa variável ambiental.

No âmbito destas análises sobressaem-se aquelas realizadas em edificações escolares, por reunirem elementos capazes de serem isolados para esse tipo de investigação. No entanto, nem mesmo o elevado consumo de energia elétrica pelo uso de sistemas de iluminação e condicionamento de ar nesses ambientes (EPE, 2017a; 2017b) e, segundo Rupp et al. (2015), conseguem proporcionar conforto térmico para seus usuários/alunos.

Recentemente, com a crise enfrentada pelo mundo na pandemia causada pelo COVID-19, Dr. Fatih Birol (2020), Diretor da Agência Internacional de Energia (IEA), destacou em seu artigo a importância da energia elétrica como fator indispensável à vida humana, e que, portanto, precisa fazer garantir que os sistemas de amanhã permaneçam confiáveis. Dessa forma, deve-se conhecer melhor os sistemas consumidores de energia elétrica para que possam ser racionalmente controlados e posteriormente utilizados.

Diante do exposto, faz-se cada vez mais necessário que os novos projetos sejam previamente estudados de acordo com sua região climática explorando suas potencialidades e prevendo sistemas ativos de resfriamento apenas em casos em que as demandas naturais não forem suficientes. Além disso, é relevante que as intervenções em edificações existentes sejam feitas por especialistas que utilizem a energia elétrica de forma consciente evitando o desperdício.

2. OBJETIVO

Este estudo teve como objetivo investigar o impacto econômico decorrente da variação na orientação de uma edificação escolar na cidade de Maceió/AL e do coeficiente de desempenho (COP) de aparelhos condicionadores de ar.

3. MÉTODO

Pela análise comparativa através da ferramenta da *EnergyPlus* em sua versão 8.8, na qual foi modelado um edifício escolar existente na cidade de Maceió-AL O estudo foi divido em:

3.1. Descrição do modelo e clima simulado

A presente pesquisa utilizou como modelo as salas de aula do bloco D, um dos edifícios do Centro Universitário Tiradentes (UNIT), localizado na Av. Comendador Gustavo Paiva, 5017 – Cruz das Almas, Maceió/AL. (Figura 1)

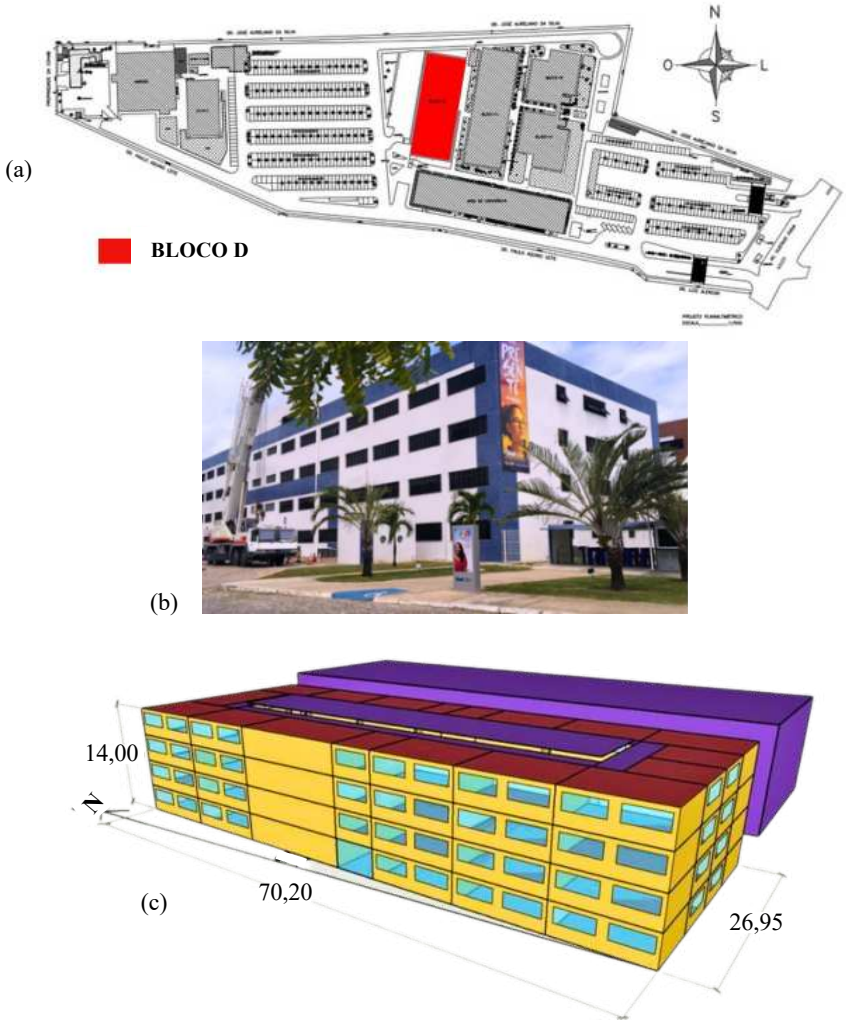


Figura 1 – (a) Planta baixa UNIT com a localização do bloco D – UNIT/AL, (b) Bloco D e (c) Volumetria da modelagem computacional

A cidade de Maceió está localizada na Zona Bioclimática 8 de acordo com a classificação da NBR 15.220 (ABNT, 2003) e apresenta segundo Passos (2009), que analisou dados climáticos de uma série histórica em Maceió, temperaturas médias entre 22,9°C e 27,9°C, umidade relativa atingindo os 83,1% e precipitação de 312,5mm. A figura 2 apresenta estes dados, onde é possível observar que 43,5% das horas durante o ano estão em desconforto térmico, devendo ser solucionado preferencialmente por meios passivos no projeto arquitetônico.

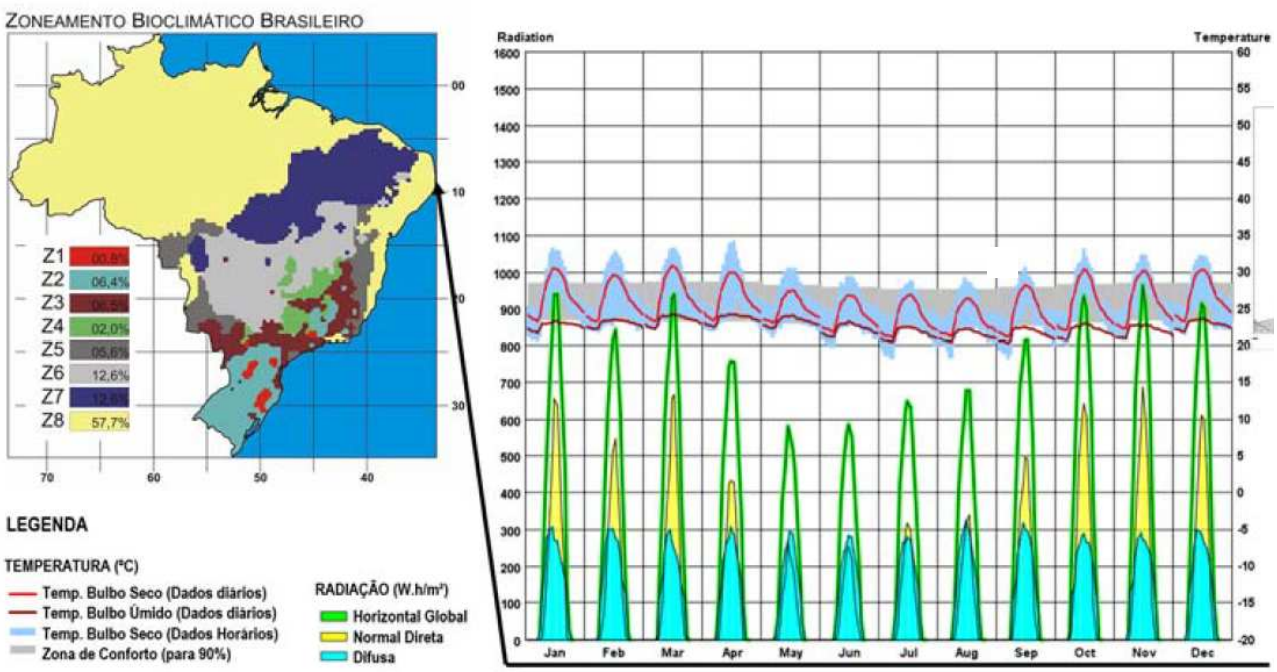


Figura 2 – Localização da cidade de Maceió, dados climáticos e indicação da porcentagem de horas em conforto e desconforto. Autoria própria, elaborado a partir dos softwares ZBBR (RORIZ, 2004) e *Climate Consultant* 6.0 (UCLA, 2016).

3.2. Propriedades térmicas dos componentes da envoltória

A determinação dos ganhos e perdas de calor entre o ambiente exterior e o interior é feita através dos componentes da envoltória (paredes, cobertura, aberturas e piso). O desempenho térmico, por sua vez, é determinado pela orientação da edificação, a forma arquitetônica e as propriedades termo físicas dos materiais. Dessa forma, serão apresentados os dados correspondentes a estas componentes que serviram de base para as simulações computacionais realizadas. (Tabelas 1 a 7)

Tabela 1 – Propriedades térmicas do vidro

	Espessura	τ_V	τ
Vidro fumê*	4 mm	0,55	0,58

Onde:
τ v – Transmitância visível
τ – Transmitância solar
*sem película

Fonte: NBR 15 220

Tabela 2 – Propriedades térmicas das esquadrias

Porta de vidro*	Espessura	τ_V	τ
	4 mm	0,891	0,808

Onde:
τ v – Transmitância visível
τ – Transmitância solar
*incolor

Porta de madeira	Espessura	λ (W/(m.K))	ρ (Kg/m³)	c (KJ/Kg.K)	CT[J/(m².K)]
	3 cm	0,15	600	1,34	120,6

λ – condutividade térmica
ρ – densidade da massa
c – calor específico
e –espessura
CT – capacidade térmica

Fonte:NBR 15 220

Tabela 3 – Propriedades térmicas do piso

	Material	λ (W/(m.K))	ρ (Kg/m³)	c (KJ/Kg.K)	e (cm)	CT[J/(m².K)]

Camada 1	Piso cerâmico branco	1,00	1800	0,92	1,0	1.656
Camada 2	Argamassa	1,15	2000	1,00	2,5	2.300
Camada 3	Camada de concreto	1,75	2200	1,0	10	3.858

Onde:
λ – condutividade térmica
ρ – densidade da massa
c – calor específico
e –espessura
CT – capacidade térmica

Fonte: NBR 15220

Tabela 4 – Propriedades térmicas das paredes

PAREDE EXTERNA

	Material	λ (W/(m.K))	ρ (Kg/m³)	c (KJ/Kg.K)	e (cm)	CT[KJ/(m².K)]
Camada 1	Cerâmica	1,00	1800	0,92	1,0	1,656
Camada 2	Argamassa	1,15	2000	1,00	2,5	2,3
Camada 3	Bloco cerâm	----	----	----	14	150
Camada 4	Argamassa	1,15	2000	1,00	2,5	2,3

A parede externa possui revestimento cerâmico e sua absortância já foi calculada pela média ponderada, como será tratado no item iv deste subitem.

PAREDE INTERNA

	Material	λ (W/(m.K))	ρ (Kg/m³)	c (KJ/Kg.K)	e (cm)	CT[KJ/ (m².K)]
Camada 1	Argamassa	1,15	2000	1,00	2,5	2,3
Camada 2	Bloco cerâm	----	----	----	14	150
Camada 3	Argamassa	1,15	2000	1,00	2,5	2,3

Onde:
λ – condutividade térmica
ρ – densidade da massa
c – calor específico
e –espessura
CT – capacidade térmica

Fonte: NBR 15220

Tabela 5 – Propriedades térmicas do piso entre pavimentos

	Material	λ (W/(m.K))	ρ (Kg/m³)	c (KJ/Kg.K)	e (cm)	CT[KJ/(m².K)]
Camada 1	Piso cerâmico branco	0,90	1900	0,84	1,0	1,436
Camada 2	Contrapiso de cimento	1,15	1000	1,00	2,0	1,115
Camada 3	Laje nervurada de conc.	1,75	2200	1,0	10	3,850
Camada 4	Camada de ar	R = 0,21 (m².K)/W (Resistência da camada de ar)				
Camada 5	Forro de gesso	0,35	900	0,84	3	2.646

Onde:
ρ – densidade da massa
λ – condutividade térmica
c – calor específico

Fonte: NBR 15220.

Tabela 6 – Propriedades térmicas da laje (cobertura)

	Material	λ (W/(m.K))	ρ (Kg/m³)	c (KJ/Kg.K)	e (cm)	CT[J/(m².K)]
Camada 1	Contrapiso de cimento	1,15	1000	1,00	2,0	1.115
Camada 2	Laje nervurada de conc.	1,75	2200	1,0	10	3.850

Camada 3	Camada de ar	R = 0,21 (m^2.K)/W (Resistência da camada de ar)				
Camada 4	Forro de gesso	0,35	900	0,84	3	2.646

Onde:
ρ – densidade da massa
λ – condutividade térmica
c – calor específico

Fonte: NBR 15220.

Tabela 7 – Absortância para a fachada

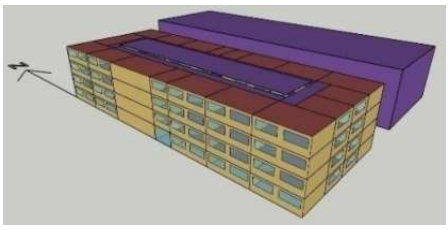
FACHADA	A_{branco}	α_{branco}(%)	A x α	A_{azul}	α_{azul}(%)	A x α	ΣAT x ΣαT
NE	253,36	36,2	9.171,63	107,60	79,9	8.597,24	17.768,87
SO	253,36	36,2	9.171,63	107,60	79,9	8.597,24	17.768,87
SE	502,55	36,2	18.192,31	249,33	79,9	19.921,46	38.113,77
NO	502,55	36,2	18.192,31	249,33	79,9	19.921,46	38.113,77
TOTAL(Σ)	1.511,82			713,88			

Onde:
ΣAT – somatório das áreas
$\mathbf{A}_{branco}$ – área da fachada na cor branca
$\boldsymbol{\alpha}_{branco}$ – absortância adotada para cor branca, de acordo com o Manual do RTQ-R
$\mathbf{A}_{azul}$ – área da fachada na cor azul
$\boldsymbol{\alpha}_{azul}$ - absortância adotada para cor branca, de acordo com o Manual do RTQ-R

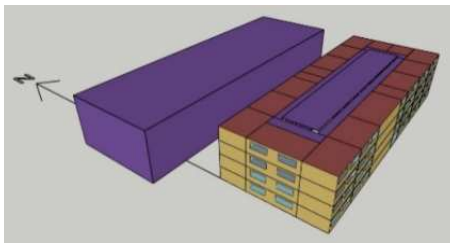
Fonte: Anexo V do Manual do RTQ-R.

3.3. Componentes geométricos: variação na orientação do edifício

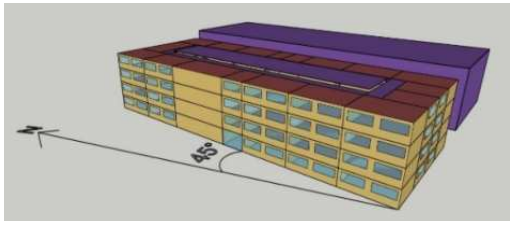
O bloco D está rotacionado 9° (sentido horário) em relação ao Norte (Figura 3a). Para quantificar a influência da orientação quanto a exposição solar das fachadas utilizou-se as seguintes proposições:



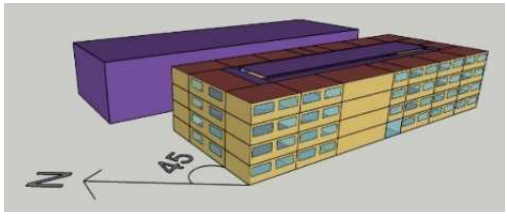
a) Orientação (0°) - maior fachada Leste e Oeste



b) Orientação (90°) - menor fachada Leste e Oeste



c) Orientação (45°a) - maior fachada a Noroeste e Sudeste



d) Orientação (45°): menor fachada a Noroeste e Sudeste

Figura 3 – Disposição das orientações das fachadas para simulação

3.4. Carga térmica e sistema de resfriamento

Segundo dados fornecidos pelo o Departamento de Infraestrutura e Manutenção-DIM, da Centro Universitário Tiradentes – UNIT, os sistemas de condicionamento de ar adotados por todas as salas de aula são do tipo *Split, Hiwall* e de capacidades diversas, conforme necessidade do ambiente.

Segundo informações do próprio departamento, os sistemas possuem filtros instalados na entrada de ar de retorno de cada unidade evaporadora, e mensalmente são realizadas manutenções como solicitado pelo PMOC (Plano de Manutenção e Operação e Controle). Já a limpeza do equipamento varia de acordo com a necessidade, podendo ser mensal ou semestralmente.

(d) (e)

O COP - *Coefficient Of Performance*, pode ser definido para o resfriamento, segundo a ASHRAE (2013), como a razão entre o calor removido do ambiente e a energia consumida para um sistema completo de refrigeração ou para uma porção específica deste sistema sob condições operacionais projetadas. As salas monitoradas têm um Coeficiente de Desempenho (COP) variando entre 2,65W/W; 2,82W/W; 2,86W/W; e 3,01W/W.

O coeficiente de performance adotado na simulação computacional segue o padrão estabelecido pela Tabela do INMETRO (2018), na qual fica estabelecido que os aparelhos com selo A, são aqueles que possuem Coeficiente de Eficiência Energética maior que 3,23 W/W. De acordo com o INMETRO (2018) foi possível consultar diferentes valores acima deste recomendado. Optou-se por utilizar aquele com maior COP disponível, assim adotou-se um aparelho condicionador de ar com COP = 3,51W/W e COP = 3,8W/W. Além desses, de modo a aprofundar a análise quanto ao percentual de variação no consumo de energia, foi utilizado mais um (COP = 4,54 W/W), com base em Rech (2018). Assim, ficou definido para a variação do COP:

▪COP1 = 3, 01 W/W (utilizado no edifício selecionado para o estudo de caso)
▪ COP2 = 3, 5 W/W – Classificação: "A" (INMET, 2018)
▪ COP3 = 3, 8 W/W - Classificação: "A" (INMET, 2018)
▪ COP4 = 4, 54 W/W (RICH, 2018)

Assim, foram fixados os parâmetros para a simulação computacional como mostram as Tabelas 8 e 9:

Tabela 8 – Valores numéricos para os parâmetros simulados

PARÂMETROS FIXOS	**VALORES**
Setpoint	21°C; 22°C; 23°C; 24°C; 25°C; 26°C; 27°C e 28°C.
COP	**3,01W/W**; 3,5W/W; 3,8W/W e 4,54W/W.
Orientação	**9°**; 0°; 45°(1); 45°(2) e 90°.
Absortância	**50,21**
Cobertura	**Translúcida**

Tabela 9 – Matriz de simulação

Modelos simulados	**ORIENTAÇÃO**					**COP**		
	S1	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**	**S1**	**S2**	**S3**
Modelo 1	✓					✗		
Modelo 2	✗					✓		
TOATAL	35 simulações					21 simulações		

4. RESULTADOS

Para analisar as proposições demonstradas na matriz de simulação sugerida, foi simulado inicialmente o modelo que mantém as características da edificação existente, chamado de Modelo 1. Neste modelo, foram alteradas a implantação da edificação no terreno através da rotação de suas fachadas. O Modelo 2 foi aquele onde os dados referentes ao COP foram variados. O objetivo foi investigar o impacto econômico quanto a variação da orientação de uma edificação escolar na cidade de Maceió e do coeficiente de desempenho (COP) de aparelhos condicionadores de ar utilizado.

Para cada um dos modelos foram feitas simulações para as temperaturas do intervalo compreendido entre 21°C e 28°C. Além disso, segundo dados do DTI da Instituição, durante o período letivo havia a combinação de duas temperaturas: uma para o verão e outra para o inverno. Assim, na apresentação e discussão dos dados seguiu-se também essa padronização para comparar se há diferença significativa quando se utiliza duas temperaturas para o *setpoint* durante o ano.

4.1 Modelo 1: Simulação alterando a orientação do edifício

A simulação desse parâmetro utilizou as rotações mostradas na Tabela 8 para a exposição das fachadas ao sol.

Quando as maiores fachadas de uma edificação são expostas a incidência solar, a carga térmica interna tende a aumentar e, portanto, o consumo de energia elétrica também. No entanto, quantificar o percentual de redução ou aumento foi o objetivo principal para esta investigação. Assim, o gráfico da Figura 3, faz uma relação percentual do ganho ou diminuição no consumo de energia elétrica comparado ao edifício estudo de caso. No gráfico é possível constatar que a maior economia de energia se deu para a orientação a 90°, com 13,66% de economia no consumo final, para a temperatura de 28°C. Comparada à orientação 45°, em relação ao azimute, a redução é pouco significativa até a temperatura de 24°C.

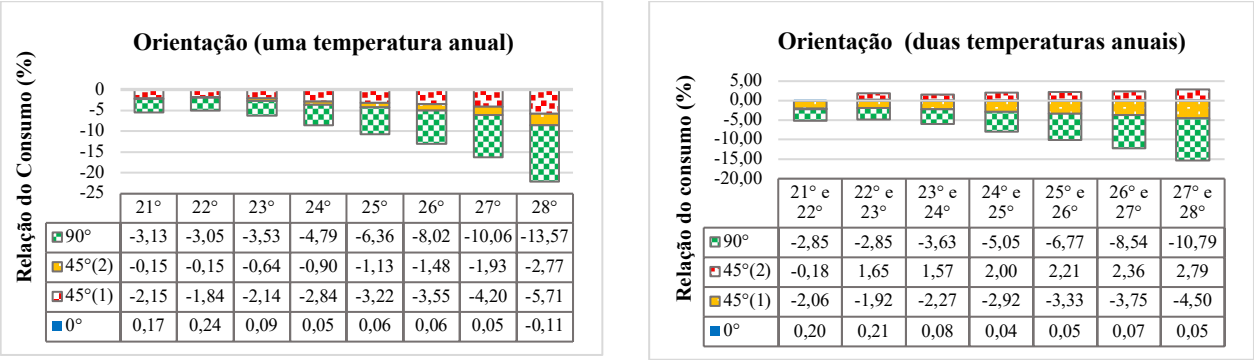


Figura 3 – (a) Variação no consumo energético com base na orientação a partir de uma temperatura anual; (b) Variação no consumo energético com base na orientação a partir de duas temperaturas anuais

Para o método de empregar duas temperaturas anuais, percebe-se que a melhor orientação para a redução no consumo é a de 90°, na qual as maiores fachadas ficam a Norte e Sul. Para as orientações a 0° e 45° (2) (maiores fachadas expostas aos raios do sol), houve um aumento no consumo de energia para os dois casos (uma temperatura anual e duas temperaturas anuais), chegando a quase 3% a mais no consumo final.

Dessa forma, para o parâmetro referente a orientação, concluiu-se que o consumo de energia da edificação aumenta quando expõe ao sol suas maiores fachadas, aumentado em até 3% seu consumo de energia, enquanto que para a situação inversa haveria uma economia nesse consumo que poderia chegar a cerca de 14%.

4.2 MODELO 2: Variando o COP do edifício

Para simular a eficiência de alguns modelos de equipamentos condicionadores de ar com base no COP, foram utilizados os seguintes valores (Tabela 10).

Tabela 10 – Valores numéricos para os parâmetros simulados

COP	VALORES
COP1	3, 01 W/W (utilizado no edifício selecionado para o estudo de caso)
COP2	3, 5 W/W – Classificação: “A” (INMET, 2018)
COP3	3, 8 W/W - Classificação: “A” (INMET, 2018)
COP4	4, 54 W/W (RICH, 2018)

Manteve-se a apresentação dos dados sob uma temperatura anual para o sistema de resfriamento e com duas temperaturas anuais. (Figura 4).

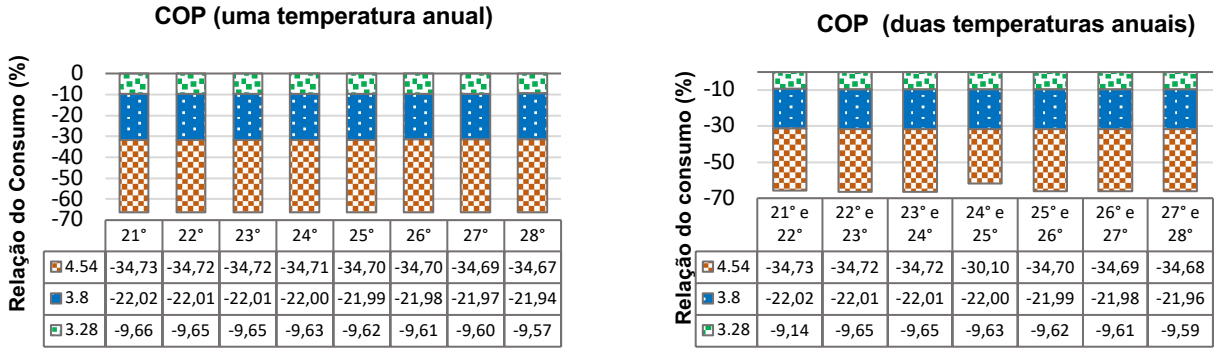


Figura 4 – (a) Variação no consumo energético com base na mudança de COP a partir de uma temperatura anual para o sistema; (b) Variação no consumo energético com base na mudança de COP a partir de duas temperaturas anuais para o sistema

O que esse parâmetro informa é uma diminuição bastante expressiva do consumo energético para o COP indicado nos estudos de Rech (2018) para as cidades localizadas na zona 8, conforme descrito no item 3.1, apresentando uma redução média para o período de 34%. Utilizando os equipamentos com etiqueta “A”, de acordo com o Inmetro (2018) a redução média para o período foi aproximadamente 22% para o COP 3.8 e 10% para o COP 3.28. Quanto a mudança de temperatura no termostato, essa não se mostrou significativa mantendo-a praticamente constante em todo o intervalo de temperaturas (Figuras 3 e 4).

Quando a simulação utilizou duas temperaturas anuais, a redução no consumo de energia elétrica diminuiu significativamente para o COP de 4,54, para cerca de 16%. Em comparação com os casos simulados para uma única temperatura, quando utilizados os valores consultados no Inmetro, a redução se manteve igual à simulação com uma única temperatura anual (14% para o COP de 3.8 e de 10% para o COP de 3.28) (Figura 4).

Assim, para o parâmetro referente a variação do COP, concluiu-se que é importante a troca de equipamento para aquele que apresente maior eficiência pois este é um parâmetro que interfere fortemente no consumo final de energia elétrica, variando de 10% a 34% de economia. Quanto ao *setpoint* não há economia significativa para o consumo entre o intervalo analisado (21°C; 22°C; 23°C; 24°C; 25°C; 26°C; 27°C e 28°C).

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho investigou o impacto econômico quanto a variação da orientação de uma edificação escolar na cidade de Maceió e do coeficiente de performance (COP) de aparelhos condicionadores de ar.

O estudo de caso selecionou uma edificação escolar situada na cidade de Maceió/AL e analisou temperaturas de acionamentos dos sistemas de refrigeração e sua relação com a eficiência energética. Com base no uso exclusivo de condicionador de ar como única estratégia de resfriamento dos ambientes, conclui-se que a edificação poderia obter economia de energia elétrica a partir do estudo de alguns elementos da envoltória.

Para isso, investigou orientação e COP, sugerindo, quanto à orientação, que aquela que mais diminui o consumo energético (até 14%) foi aquela com as maiores fachadas voltas para norte e sul; quanto ao COP, apresentou significativa redução no consumo de energia elétrica quando utilizado um equipamento mais eficiente (cerca de 34%) de economia para um equipamento com COP específico para zona 8. Para as demais simulações comparativas utilizando equipamentos de linhas comerciais a redução ficou entre 10% e 20%, para o de menor e de maior COP, respectivamente. É importante complementar que, para os casos investigados, o consumo de energia foi menor quando foram mantidas uma mesma temperatura para todo o ano nos aparelhos condicionadores de ar.

Para a eficiência energética o melhor cenário foi aquele com maiores fachadas orientadas a Norte e Sul; uso de equipamento condicionador de ar com maior COP. A adoção dessas estratégias representaria para a edificação uma redução média de 12% no consumo final de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220–03**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ABRAVA. Mercado de Ar Condicionado. **Revista** Abrava, p. 44-47, 2014.

ABREU, Patrícia. **Consumo de energia global cresceu em 2017 ao ritmo mais rápido desde 2013**. Negócios. Rio de Janeiro, jul. 2018. Disponível em: https://www.jornaldenegocios.pt/mercados/materias-primas/detalhe/consumo-de-energia-global-cresceu-em-2017-ao-ritmo-mais-rapido-desde-2013. Acesso em: 17 jan. 2019.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2013

ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. **ASHRAE** Inc., v. 2017, p. 66, 2017.

CUBI ENERGIA. **Consumo do ar-condicionado e seu futuro**. Disponível em: https://www.cubienergia.com/consumo-ar-condicionado-seu-futuro/. Acesso em: 27 dez. 2018.

DALE, S. **bp Statistical Review of World Energy** | 71st edition. 2022

EPE. **Nota Técnica** DEA 001/2017: Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026). Brasília. EPE. 2017b.

HEYWOOD, H., 2017. **101 regras básicas para edificações e cidades sustentáveis**, Gustavo Gili

INMETRO. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. 2015. 3ª ed.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – **INMETRO**. Informações sobre acreditação de laboratórios. Rio de Janeiro.2018

KEITH, D.; HA-DUONG, M.; STOLAROFF, J.;2006. **Climate strategy with CO2 capture from the air**. Clim. Change 74 (1 3), 17 45.

NICOL, J. Fergus. Comfort and energy use in buildings - Getting them right. **Energy and Buildings**, n. 39, p. 737-739, 2007.

NICOL, J. Fergus; ROAF, Susan. Rethinking thermal comfort. **Building Research & Information**, [s.l.], v. 45, n. 7, p.711-716, 30 mar. 2017.

PASSOS, I. C. da S. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar**. 2009. 173f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2009.

RECH, Letícia Dotta. **Análise do COP anual de condicionadores de ar tipo Split fixo e inverter nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UNISINOS, São Leopoldo. 2018.

RORIZ, M. **ZBBR, versão 1.1**. Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em construção Civil. 2004. Disponível em http://www.labeee.ufsc.br/software/zbbr.html acesso em 09 jun 2022.

RUPP, R. F. et al. Aplicabilidade do modelo PMV/PPD para avaliação de conforto térmico em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em Florianópolis/SC. **ENCAC**. Campinas-SP, 2015.

SOUSA, M. C. B. de; LEDER, S. M. Reflexões sobre terminologias utilizadas para definir o conforto térmico humano. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas**, v. 10, p. e019028, 2019.

UCLA, University of California, Los Angeles. **Climate Consultant 6.0**. Universidade da Califórnia, Los Angeles, EUA. 2016. Disponível em http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu acesso em 09 jun, 2022.

VECCHI, R. de. Avaliação de conforto térmico em edificações comerciais que operam sob sistemas mistos de condicionamento ambiental em clima temperado e úmido. 2015.237 f. **Tese em engenharia Civil**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2015.

WAN Y, et al. Role of the histone variant H2A.Z/Htz1p in **TBP recruitment, chromatin dynamics, and regulated expression of oleate-responsive genes**. 2009