XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Estudo sobre Consumo de Energia de Diferentes Sistemas de Ar-Condicionado, Layouts e Horários de Trabalho

Estudio sobre el consumo energético de diferentes sistemas de aire acondicionado, distribuciones y horarios de trabajo

Study on the Energy Consumption of Different Air-Conditioning Systems, Layouts and Working Hours

Eficiência Energética / *Eficiencia Energética / Energy Efficiency*

Oliveira, Belmiro Cardoso

Doutorando em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, belmirocardoso@gmail.com

Souza, Roberta Vieira Gonçalves de

Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, robertavgs@ufmg.br

Vivas, Camila Lemes Caputo

Graduanda em Arquitetura Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, camilalemescv@gmail.com

Oliveira, Pedro Henrique Figueiredo

Graduando em Estatística, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, phfopedro4025@gmail.com

Godoi, Luiz Condi

Mestre em Engenharia pela UNIOESTE, Belo Horizonte, MG, Brasil, godoi.lcg@gmail.com

Resumo

Este estudo tem como objetivo investigar a variação de consumo de energia elétrica em uma edificação pública existente a partir da modificação de sistemas de ar-condicionado, *layouts* e horários de uso. O estudo de caso é um prédio de 5 andares com 500 m² por andar, localizado em Maceió, modificado para verificação da eficiência na tomada de decisões. A pesquisa analisa sistemas de *chiller* com condensação a água e a ar com fancoils e fancoletes, VRF (*Variable Refrigerant Flow*) e mini *splits*, em dois tipos de *layout*, *open office* e celular, com dois regimes de horários, flexíveis com funcionamento das 7hrs às 21hrs, e fixos, das 8hrs às 17hrs. Os consumos variaram entre 769 kWh/dia a 2160kWh/dia para horário flexível e 1651 kWh/dia a 945 kWh/dia para horário fixo a depender do layout e tipo de sistema. A pesquisa concluiu que as variáveis estudadas influenciam o consumo de energia.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Sistemas de Ar-Condicionado. Ocupação.

Resumen

El objetivo de este estudio es investigar la variación del consumo de electricidad en un edificio público existente mediante la modificación de los sistemas de aire acondicionado, la distribución y las horas de uso. El caso de estudio es un edificio de 5 plantas con 500 m² por planta, situado en Maceió, modificado para verificar la eficiencia en la toma de decisiones. La investigación analiza sistemas de refrigeración con condensación por agua y aire con fan coils con conductos y cassettes, VRF (Flujo de Refrigerante Variable) y mini splits, en dos tipos de layout, open office y celular, con dos regímenes horarios, flexible con funcionamiento de 7h a 21h, y fijo, de 8h a 17h. Los consumos oscilaron entre 769 kWh/día y 2160 kWh/día en horario flexible y entre 1651 kWh/día y 945 kWh/día en horario fijo, según la disposición y el tipo de sistema. La investigación concluyó que las variables estudiadas influyen en el consumo de energía.

Palabras clave: Eficiencia Energética. Sistemas de Aire Acondicionado. Ocupación.

Abstract

This study aims to investigate the variation in electricity consumption in an existing public building by modifying air conditioning systems, layouts and hours of use. The case study is a 5-storey building with 500 m² per floor, located in Maceió, modified to verify efficiency in decision-making. The research analyzes chiller systems with water and air condensation with air handler and hydronic fan coils, VRF (Variable Refrigerant Flow) and mini splits, in two types of layout, open office and cellular, with two schedules, flexible with operation from 7 am to 9 pm, and fixed, from 8 am to 5 pm. Consumption ranged from 769 kWh/day to 2160 kWh/day for flexible hours and 1651 kWh/day to 945 kWh/day for fixed hours, depending on the layout and type of system. The research concluded that the variables studied influence energy consumption.

Keywords: Energy Efficiency. Air Conditioning System. Occupation.

INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Internacional de Energia, os edifícios são responsáveis por 30% do consumo de energia e 27% das emissões totais do setor energético (IEA, 2019). A redução do consumo energético nesses espaços é essencial para mitigar problemas ambientais. O uso de energia para ar-condicionado em edifícios públicos aumentou devido a erros no dimensionamento desses sistemas (WORADECHJUMROEN, 2019).

Prédios onde ocorreram erros no dimensionamento do sistema de ar-condicionado podem implicar em aumento do custo inicial do equipamento e custos adicionais contínuos devido a performance do sistema, manutenção e uso de energia (DJUNAEDY *et al.*, 2011).

Quando a carga térmica de um prédio é inferior à capacidade de resfriamento do sistema, os equipamentos operam em baixa carga, reduzindo a eficiência energética. Para resolver essa questão, diversas iniciativas têm sido implementadas, como o uso de sistemas de ar-condicionado otimizados e estratégias avançadas de controle (LI, WANG, KOO, 2021).

Existem diversas formas de calcular a carga térmica de pico, sendo essencial conhecer as características construtivas e de uso da edificação para dimensionar corretamente o sistema de refrigeração (VALLEJO-CORAL *et al.*, 2014). Ao calcular essa carga, os engenheiros podem selecionar equipamentos e projetar sistemas que atendam aos requisitos de uso, *layout* e ocupação do edifício (XIAO *et al.*, 2024).

Este artigo investiga qual sistema de ar-condicionado apresenta menor consumo de energia elétrica ao variar *layouts* e horários de trabalho para uma edificação pública existente em clima quente. Tal poderá indicar para a instituição a melhor estratégia a ser seguida em futuras decisões de projeto já que a instituição possui diversas edificações localizadas em cidades de clima quente.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os edifícios devem oferecer aos usuários um ambiente confortável, com temperatura estável, iluminação adequada, silêncio e ar fresco, por meio de sistemas de ar-condicionado e iluminação. Esses sistemas representam uma grande parte do consumo global de energia (IEA, 2019).

Informações sobre a ocupação são essenciais para melhorar o desempenho energético e reduzir o consumo, mantendo o conforto dos ocupantes. Estudos mostram que adotar estratégias de controle baseadas na ocupação pode resultar em uma economia significativa de energia (RUEDA *et al.*, 2020).

O *layout* e a geometria de um edifício impactam diretamente seus usuários, e mudanças nas paredes internas e externas podem reduzir o consumo de energia (LATHA, PATIL, KINI, 2023). O *layout* arquitetônico refere-se à alocação de diferentes espaços, sendo uma das tarefas mais importantes na fase de projeto (LOBOS, DONATH, 2010). Geralmente, busca-se segurança, logística, eficiência, saúde, desempenho dos ocupantes, além de conexão visual e acústica. Embora o *layout* afete o consumo de energia, esse aspecto raramente é priorizado nos projetos (DU *et al.*, 2020).

As variáveis do *layout* incluem função, dimensão, forma, divisórias e aberturas, decididas com base em fatores como luz solar, vista, acessibilidade, privacidade, segurança e uso eficiente do espaço (DENG *et al.*, 2021). Diferentes *layouts* acomodam densidades de ocupantes variadas, como em escritórios abertos, que comportam mais pessoas do que os com escritórios fechados (MUSAU, STEEMERS, 2008).

Layouts distintos exigem diferentes tipos de controle de ar-condicionado e iluminação. O controle individual é mais adequado para um escritório fechado, enquanto espaços abertos demandam outro tipo de abordagem (SHAHZAD *et al.*, 2017). A flexibilidade do *layout* pode contribuir para a eficiência energética, pois esses espaços podem ser adaptados conforme as necessidades (SONTA, DOUGHERTY, JAIN, 2021).

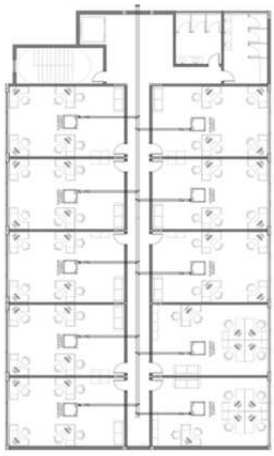
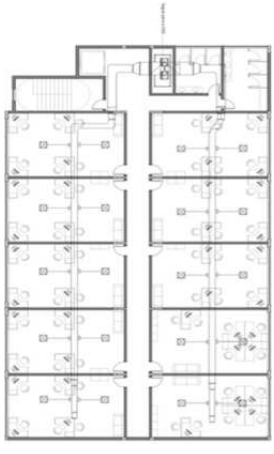
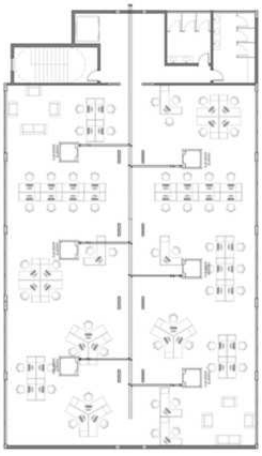
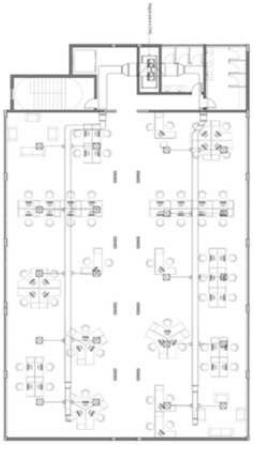
Os edifícios públicos de escritório, que demandam sistemas de ar-condicionado, costumam ter altas taxas de ocupação, equipamentos técnicos que dissipam calor e iluminação artificial, gerando uma carga significativa de calor interno. O alto consumo de energia em edifícios públicos está, principalmente, relacionado ao sistema de condicionamento de ar (FRANCO, MISEROCCHI, TESTI, 2021).

A eficiência energética contribui para a redução de custos operacionais e melhora o conforto térmico dos ocupantes. Dada a alta escalada dos preços da energia elétrica, ela tem alto valor agregado, e pesquisas estão focadas em novas soluções para otimizar a envoltória, iluminação e sistemas de ar-condicionado (SANTAMOURIS, VASILAKOPOULO, 2021).

Os indicadores mais comuns para medir a eficiência de sistemas de ar-condicionado são o Coeficiente de Performance (COP) e o Coeficiente de Eficiência Energética (EER). O COP é a razão entre o calor removido e a energia consumida, e quanto maior o COP, mais eficiente é o equipamento. O EER, que é a razão entre a capacidade de resfriamento (em Btu/h) e a energia consumida (em W), também indica a eficiência do aparelho, sendo que valores mais altos indicam maior eficiência (ASHRAE, 2016).

OBJETO DE ESTUDO

Para verificar a variação do consumo de energia dos sistemas de ar-condicionado, foi usada planta tipo de edificação de Instituição Pública existente, onde um dos autores trabalha, construída em Maceió, modificada em seu layout e nos sistemas de ar-condicionado usados, para verificação de impacto no consumo de energia destas estratégias. O edifício possui 5 pavimentos, com 500 m² por andar. As alterações contemplam duas variações de *layout*: salas de escritório (Figuras 1 e 2) e *open office* (Figuras de 3 e 4). Na 1ª opção, o projeto inclui 10 salas de 8 m x 5 m, totalizando 40 m² por sala com uma área de circulação central de 100 m². O edifício em estudo tem carga térmica de 150 toneladas de refrigeração, em que 1 tonelada de refrigeração é igual a 12.000 BTUs ou 1 TR.

Figura 1 – Sistema com cassete em *layout* celular	**Figura 2 - Sistema com fancoil em *layout* celular**	**Figura 3 - Sistema com cassete em *layout open office***	**Figura 4 - Sistema com fancoil em *layout open office***
			

Fonte: Autores

Para a modelagem da carga térmica foi usado o programa Tracer do fabricante Trane tendo sido selecionado equipamentos por faixa de eficiência dos equipamentos comerciais que tem equipamentos similares de outros fabricantes. O software também fornece o consumo de energia por faixas de capacidade de refrigeração do sistema. Também foram extraídas informações da edificação existente que trabalha com um *chiller* com condensação a água e fancoils em um layout de escritório. O prédio já teve o regime de trabalho em horário integral e atualmente opera em horário flexível. Os dados de ocupação foram extraídos dos sistemas de controle de acesso existente.

METODOLOGIA

Esta seção descreve a metodologia da pesquisa que busca otimizar o consumo de energia em edifícios, considerando variações nos sistemas de ar-condicionado, horários e *layouts*. Foram coletados dados de ocupação e de sistemas existentes de um prédio atualmente em operação na cidade de Maceió, catálogos técnicos comerciais e o software Tracer da Trane para avaliar o consumo e a eficiência energética de um sistema de 150 toneladas de refrigeração (1 TR), variando de 10% a 100% de capacidade.

Através do uso do software Tracer, foram simulados e analisados sistemas de *chillers* com fancoils ou fancoletes, VRF (Volume de Refrigerantes Variáveis) e mini *splits*, em *layouts open office* ou celular de um edifício de 5 andares, cada andar de 500 m², totalizando 2500 m².

Em seguida foram previstos os consumos, para os dois modelos de *layout* e duas opções de horários: das 8h às 17h com 100% do efetivo ou das 7h às 21h com jornada de 8 horas. A origem dos dados de ocupação são os sistemas de controle de acesso da instituição. Foram analisadas as diversas combinações de cronograma, *layout* e sistemas de ar-condicionado em termos de consumo e eficiência energética.

A análise foca em como essas variáveis afetam a eficiência energética, considerando diferenças nos horários de ocupação em um dia típico de trabalho. Por fim, será determinada a melhor configuração de eficiência energética para o estudo de caso com variações nos sistemas de ar-condicionado, horários, ocupação e *layouts*.

RESULTADOS

Os sistemas de ar-condicionado estudados foram *chillers* com condensação a ar ou água. Nesse sistema, foram usadas as seguintes combinações de evaporadoras: um fancoil de 30 toneladas, 10 fancoletes de 3 toneladas ou 6 fancoletes de 5 toneladas, de forma que a carga térmica sempre seja 30 toneladas de refrigeração para climatizar 500 m² de área de escritório. O sistema de VRF utiliza evaporadoras de 3 toneladas para escritórios fechados e 5 toneladas para *open office*. Na opção de mini *splits*, são usados modelos com 3 e 5 toneladas, sendo a primeira opção para escritórios e a segunda para *open office*.

A tabela 1 apresenta o consumo e a eficiência dos sistemas estudados, com variações de 10% (dez por cento) para cada um, com capacidade mínima de 15 toneladas de refrigeração e máxima de 150 toneladas de refrigeração.

Tabela 1 - Consumo de energia parcial por sistema

Tipos de sistema			Chiller a ar	Chiller a ar	Chiller a água	Chiller a água	VRF	VRF	Split 5 trs	Split 5 trs	Splits 3 trs	Splits 3 trs
Consumo percentual do sistema com 150 trs	Potencia de refrigeração em toneladas de refrigeração - trs	Potencia de refrigeração em KW	Potência consumida em kW	Eficiência	Potência consumida em kW	Eficiência	Potência consumida em kW	Eficiência	Potência consumida em kW	Eficiência	Potência consumida em kW	Eficiência
100%	150	535	176	3,05	105	5,10	115,70	4,63	183,53	2,92	179,96	2,97
90%	135	482	152	3,17	86	5,60	104,13	4,63	165,18	2,92	161,96	2,97
80%	120	428	102	4,20	74	5,79	92,56	4,63	146,82	2,92	143,97	2,97
70%	105	375	88	4,26	62	6,04	80,99	4,63	128,47	2,92	125,97	2,97
60%	90	321	58	5,54	50	6,42	69,42	4,63	110,12	2,92	107,98	2,97
50%	75	268	43	6,22	31	8,63	57,85	4,63	91,76	2,92	89,98	2,97
40%	60	214	34	6,30	30	7,14	46,28	4,63	73,41	2,92	71,98	2,97
30%	45	161	23	6,98	21	7,65	34,71	4,63	55,06	2,92	53,99	2,97
20%	30	107	18	5,95	21	5,10	23,14	4,63	36,71	2,92	35,99	2,97
10%	15	54	18	2,97	21	2,55	11,57	4,63	18,35	2,92	18,00	2,97

Fonte: Autores

A Tabela 1 mostra grande variação na eficiência dos sistemas estudados, com *chillers* alcançando até 8,63 em cargas parciais e mini *splits* apresentando eficiência de 2,92. Os *chillers* possuem grande variação de eficiência em diferentes faixas de consumo, o que influencia diretamente o consumo de energia do sistema, enquanto os mini *splits*, acionados individualmente de acordo com a demanda térmica da edificação, mantêm a eficiência. Vale ressaltar que existem equipamentos no mercado com eficiências superiores às do estudo, embora com maior custo inicial.

Nas tabelas 2 e 3, são apresentados dados do consumo de energia do sistema de *chillers*, além de informações dos fabricantes, correlacionando os consumos em carga total e parcial de acordo com os *layouts open office* ou escritório.

Tabela 2 – Consumo do sistema com *chiller* a ar em diferentes *layouts*

Tipo de sistema	Chiller condensação a ar	Tipo de evaporadoras	Fancoil	Fancoil	Cassetes	Cassetes
		Layout escritórios	Open office	Escritório	Open office	Escritório
Consumo percentual do sistema com 150 trs	Potencia de refrigeração em toneladas de refrigeração - trs	Potencia de refrigeração em KW	Potência consumida em kW	Potência consumida em kW	Potência consumida em kW	Potência consumida em kW
100%	150	535	176	176	176	176
90%	135	482	170	170	158	158
80%	120	428	165	165	112	102
70%	105	375	160	160	106	88
60%	90	321	155	155	87	58
50%	75	268	151	151	65	43
40%	60	214	146	146	51	34
30%	45	161	142	142	35	23
20%	30	107	138	138	18	18
10%	15	54	133	133	18	18

Tabela 3 - Consumo do sistema com *chiller* a água em diferentes *layouts*

Tipo de sistema	Chiller condensação a água	Tipo de evaporadoras	Fancoil	Fancoil	Cassetes	Cassetes
		Layout escritórios	Open office	Escritório	Open office	Escritório
Consumo percentual do sistema com 150 trs	Potencia de refrigeração em toneladas de refrigeração - trs	Potencia de refrigeração em KW	Potência consumida em kW	Potência consumida em kW	Potência consumida em kW	Potência consumida em kW
100%	150	535	105	105	120	120
90%	135	482	102	102	118	107
80%	120	428	99	99	96	80
70%	105	375	96	96	69	69
60%	90	321	93	93	86	57
50%	75	268	90	90	63	42
40%	60	214	87	87	50	33
30%	45	161	85	85	42	28
20%	30	107	82	82	28	28
10%	15	54	80	80	28	28

Fonte: Autores

Em edificações com fancoils e dutos, todos os ambientes são climatizados continuamente independentemente da ocupação. Já nos sistemas de evaporadoras individuais, como o modelo cassete, a climatização da sala ocorre de um a um, conforme a demanda do usuário, permitindo o ajuste da temperatura por meio de um termostato. Esse sistema é mais flexível, dado que o usuário pode até optar por não ligar o equipamento e fazer o uso da ventilação natural em dias mais amenos.

Tabela 4 - Consumo do sistema VRF em diferentes *layouts*

Tipo de sistema	VRF	Tipo de evaporadoras	Cassetes	Cassetes
		Layout escritórios	Open office	Escritório
Consumo percentual do sistema com 150 trs	Potencia de refrigeração em toneladas de refrigeração - trs	Potencia de refrigeração em KW	Potência consumida em kW	Potência consumida em kW
100%	150	535	115,70	115,70
90%	135	482	104,13	104,13
80%	120	428	92,56	92,56
70%	105	375	80,99	80,99
60%	90	321	69,42	69,42
50%	75	268	57,85	57,85
40%	60	214	46,28	46,28
30%	45	161	34,71	34,71
20%	30	107	23,14	23,14
10%	15	54	11,57	11,57

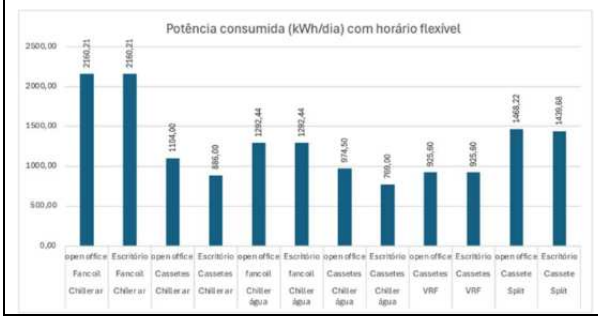
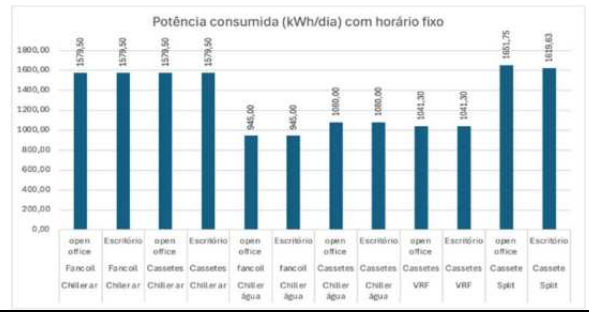
Tabela 5 - Consumo do sistema mini *split* em diferentes *layouts*

Tipo de sistema	Split	Tipo de evaporadoras	Cassetes	Cassetes
		Layout escritórios	Open office	Escritório
Consumo percentual do sistema com 150 trs	Potencia de refrigeração em toneladas de refrigeração - trs	Potencia de refrigeração em KW	Potência consumida em kW	Potência consumida em kW
100%	150	535	183.53	179.96
90%	135	482	165.18	161.96
80%	120	428	146.82	143.97
70%	105	375	128.47	125.97
60%	90	321	110.12	107.98
50%	75	268	91.76	89.98
40%	60	214	73.41	71.98
30%	45	161	55.06	53.99
20%	30	107	36.71	35.99
10%	15	54	18.35	18.00

Fonte: Autores

Nas tabelas 4 e 5, são apresentados os consumos dos sistemas VRF e mini *split* em diferentes *layouts*. Nota-se uma proporcionalidade entre o percentual de área condicionada e o consumo de energia do sistema, pois a unidade condensadora opera proporcionalmente à evaporadora.

Em seguida, foram calculados os consumos considerando a taxa de ocupação para todos os sistemas de ar-condicionado, nos *layouts open office* e escritório, e em horários fixos e flexíveis. Os gráficos 1 e 2 apresentam o consumo para cada tipo de sistema para esses regimes de trabalho.

Gráfico 1 - Consumo de energia em horário flexível	**Gráfico 2: Consumo de energia em horário fixo**
	

Fonte: Autores

Observa-se uma grande variação no consumo dos sistemas propostos, sendo os *chillers* com condensação a ar ou água com uso de fancoils os mais consumidores de energia, pois climatizam o prédio inteiro, independentemente da ocupação, mantendo a climatização contínua em todos os ambientes. Mesmo com 20% de ocupação, 100% dos ambientes ficam climatizados.

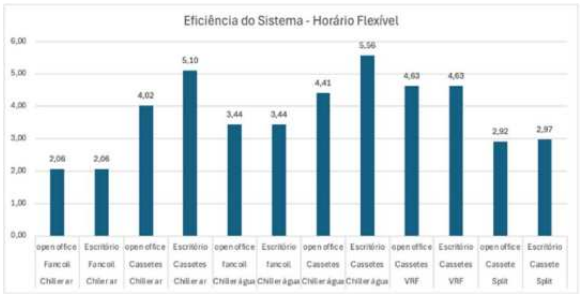
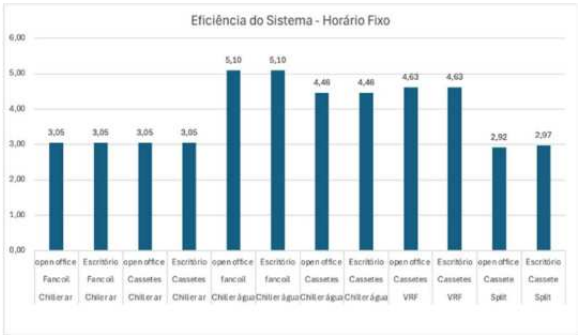
Os sistemas de horário flexível com menor consumo, 769 kWh/dia utiliza *chiller* a água com cassetes em *layout* fechado, climatizando as salas conforme a ocupação, combinando com a alta eficiência do sistema. Esse consumo só é obtido porque o *chiller* tem boa de eficiência em todas as faixas de consumo e a demanda por refrigeração varia de acordo com o aumento e a redução na ocupação do edifício.

Da mesma forma, o sistema VRF também têm baixo consumo em horários flexíveis, 925 KWh/dia, pois o consumo é proporcional à ocupação. Os sistemas com mini *split*, assim como os VRFs, dependem da eficiência do equipamento, sendo ligados e desligados sala por sala.

Nos sistemas com horário fixo (8h às 17h), o consumo varia conforme o tipo de sistema e *layout*. O *chiller* a ar apresenta maior consumo, 1579 kWh/dia, devido à baixa eficiência a 100% da capacidade, enquanto o *chiller* a água tem o consumo mais baixo, 945 kWh/dia, e maior eficiência em carga plena. Nesse regime, não há variação entre *layouts*, pois todas as unidades funcionam entre 8h e 17h, com consumo dependendo da eficiência em carga plena.

Ao comparar os consumos de energia em horários flexíveis, os sistemas com evaporadoras independentes, como os cassetes combinados com *chiller* a água de alta eficiência, apresentam o melhor desempenho em várias faixas de consumo. Isso ocorre porque o aumento do consumo e diretamente proporcional a demanda.

Ao analisar a eficiência do sistema, nota-se que em horários flexíveis é necessário que o sistema mantenha boa eficiência em todas as faixas de consumo devido à grande variação da taxa de ocupação. Sistemas complexos, como os que utilizam *chiller*, podem ter baixa performance e eficiência nas diferentes faixas de utilização, como demonstrado na tabela 1 e nas tabelas 2 e 3. Já os sistemas VRFs e mini *splits* não variam a sua eficiência, dependendo diretamente da eficiência do equipamento escolhido.

Gráfico 3: Eficiência dos sistemas de ar-condicionado em horário flexível	**Gráfico 4: Eficiência dos sistemas de ar-condicionado em horário fixo**
	

Fonte: Autores

Para as opções com horário fixo, é necessário que os equipamentos em plena carga tenham boas eficiências, como VRFs e mini *splits*. Ao contrário dos sistemas de carga parcial, a eficiência não varia entre *layouts open office* ou escritório, nem entre cassetes ou fancoils com rede de dutos.

Observa-se que o sistema com *chiller* a água apresenta o melhor desempenho no regime de horário fixo, enquanto os sistemas com mini *splits* possuem o pior desempenho. Equipamentos como *chiller* são conhecidos pela sua robustez e eficiência, e, quando bem selecionados, promovem baixo consumo de energia. Ao comparar o mesmo sistema em horários fixo e variável, verifica-se que o regime de horário fixo tem melhor performance na maioria dos casos estudados.

Os resultados obtidos demonstram que equipamentos eficientes que atendam a carga térmica de forma proporcional a ocupação tem melhores resultados no consumo de energia.

CONCLUSÕES

A escolha do melhor sistema de ar-condicionado, controle de temperatura, eficiência energética, deve considerar os horários de trabalho e o tipo de *layout* da edificação.

A partir desse estudo, conclui-se que sistemas projetados com fancoils e dutos tem alto consumo quando há utilização parcial dos ambientes climatizados, enquanto sistemas projetados para cargas parciais apresentam menores consumos no regime de trabalho flexível. A eficiência energética do sistema deve ser analisada especificamente na faixa de trabalho para o qual ele será exigido.

As inovações quanto as melhorias da eficiência energética disponíveis no mercado podem trazer ganhos significativos na economia de energia elétrica ao substituir um equipamento existente por um mais moderno

Na fase de projeto, deve-se ter a maior quantidade de informações possíveis sobre a ocupação e *layout*, a fim de dimensionar uma opção de sistema de climatização que melhor adeque ao uso da edificação, dado que ambientes que permitem ao usuário optar pelo funcionamento ou não do sistema de ar-condicionado e ajustar a temperatura do termostato podem trazer melhor controle de temperatura e economia de energia. Para alterar o *layout* ou regime de trabalho em uma edificação, é necessário verificar se o sistema de ar-condicionado está adequado a nova situação proposta.

Novos estudos podem ser feitos propondo melhorias na eficiência do sistema e analisando o custo de investimento e retorno nas soluções propostas.

REFERÊNCIAS

ASHRAE. 2016. Norma ANSI/ASHRAE/IES 90.1-2016. Atlanta: ASHRAE.

DENG, Qingtan; WANG, Guangbin; WANG, Yuetao; ZHOU, Hao; MA, Lei. A quantitative analysis of the impact of residential cluster layout on building heating energy consumption in cold IIB regions of China. **Energy and Buildings**, v. 253, p. 111515, 2021.

DJUNAEDY, Ery; WYMELENBERG, Kevin van den; ACKER, Brad; THIMMANA, Harshana. Oversizing of HVAC system: Signatures and penalties. Energy and Buildings, v. 43, n. 2-3, p. 468-475, 2011.

DU, Tiantian; JANSEN, Sabine; TURRIN, Michela; DOBBELSTEEN, Andy van den. Effects of architectural space layouts on energy performance: A review. **Sustainability**, v. 12, n. 5, p. 1829, 2020.

FRANCO, Alessandro; MISEROCCHI, Lorenzo; TESTI, Daniele. HVAC energy saving strategies for public buildings based on heat pumps and demand-controlled ventilation. **Energies**, v. 14, n. 17, p. 5541, 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. World energy statistics and balances, IEA. **France**, 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA, UNEP. Global status report for buildings and construction 2019. **UN Enviroment programme**, v. 224, 2019.

LATHA, Harsha; PATIL, Shantharam; KINI, Pradeep G. Influence of architectural space layout and building perimeter on the energy performance of buildings: A systematic literature review. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, v. 14, n. 3, p. 431-474, 2023.

LI, Wenzhuo; WANG, Shengwei; KOO, Choongwan. A real-time optimal control strategy for multi-zone VAV air-conditioning systems adopting a multi-agent based distributed optimization method. Applied Energy, v. 287, p. 116605, 2021.

LOBOS, Danny; DONATH, Dirk. The problem of space layout in architecture: A survey and reflections. **Arquitetura Revista**, v. 6, n. 2, p. 136-161, 2010.

MUSAU, Filbert; STEEMERS, Koen. Space planning and energy efficiency in office buildings: the role of spatial and temporal diversity. **Architectural Science Review**, v. 51, n. 2, p. 133-145, 2008.

RUEDA, Luis; AGBOSSOU, Kodjo; CARDENAS, Alben; HENAO, Nilson; KELOUWANI, Sousso. A comprehensive review of approaches to building occupancy detection. **Building and Environment**, v. 180, p. 106966, 2020.

SANTAMOURIS, Matthaios; VASILAKOPOULOU, Konstantina. Present and future energy consumption of buildings: challenges and opportunities towards decarbonization. **e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy**, v. 1, p. 100002, 2021.

SHAHZAD, Sally; BRENNAN, John; THEODOSSOPOULOS, Dimitris; HUGHES, Ben; CALAUTIT, John Kaiser. Energy and comfort in contemporary open plan and traditional personal offices. **Applied energy**, v. 185, p. 1542-1555, 2017.

SONTA, Andrew; DOUGHERTY, Thomas R.; JAIN, Rishee K. Data-driven optimization of building layouts for energy efficiency. **Energy and Buildings**, v. 238, p. 110815, 2021.

VALLEJO-CORAL, E. Catalina; RIVERA-SOLORIO, C. I.; GIJÓN-RIVERA, M. Ángel; ZUÑIGA-PUEBLA, Hugo F. Theoretical and experimental development of cooling load temperature difference factors to calculate cooling loads for buildings in warm climates. **Applied Thermal Engineering**, v. 150, p. 576-590, 2019.

WORADECHJUMROEN, Denchai; YU, Yuebin; LI, Haorong; YU, Daihong; YANG, Huojun. Analysis of HVAC system oversizing in commercial buildings through field measurements. Energy and Buildings, v. 69, p. 131-143, 2014.

XIAO, Rui; CHEN, Youming; ZHANG, Xinchao; CAO, Minghao; FANG, Zhengcheng. Energy efficiency evaluation for building air-conditioning systems determind by coincident design weather data. **Journal of Building Engineering**, v. 84, p. 108581, 2024.