

**DEO** | DESEMPENHO  
ENERGÉTICO  
OPERACIONAL  
EM EDIFICAÇÕES

# Relatório Final Consolidado

---

Resultados de Energia e conforto nos 8 edifícios  
2019



## RELATÓRIO FINAL CONSOLIDADO

Elaborado por:

**mitsidi**  
PROJETOS

Autores:

Rosane Fukuoka  
Alexandre Schinazi  
Bruno Marcos  
Pedro Paulo Fernandes  
Luisa Zucchi

Para:

Procel/Eletrobras

Projeto:

DEO – Eficiência Energética em Edificações – ECE-DAS-3925/2018

Coordenação:

Alexandre Schinazi

Junho/2019



## SUMÁRIO

SUMÁRIO .....	2
1. INTRODUÇÃO .....	3
2. RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DOS 8 EDIFÍCIOS .....	4
2.1 Processo, cronograma e escopo .....	4
2.2 Medidas de eficiência energética e gestão energética .....	6
2.3 Medidas de conforto mais encontradas .....	8
2.4 Indicadores de desempenho e análises gerais .....	9
2.4.1 Comparação de EUIs .....	9
2.4.2 Comparação de Indicadores de conforto .....	11
2.4.3 Consumo por uso final .....	25
2.4.4 Densidade de potência de iluminação (DPI) W/m <sup>2</sup> .....	27
2.4.5 Capacidade específica de aquecimento e resfriamento por região e consumo de área condicionada .....	28
2.4.6 Consumo vs temperatura .....	30
2.4.7 Avaliação de eficiência dos CPDs .....	34
2.4.8 AVAC central vs individual .....	36
2.4.9 Potencial de economias (R\$ e kWh) .....	39
2.4.10 Resultados e ganhos intangíveis .....	43
2.5 Desafios e aprendizados .....	44
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	45

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho se insere dentro de um contexto mais amplo, como parte do Projeto de Desempenho Energético Operacional (DEO), cujo objetivo é disseminar a importância da realização de diagnósticos energéticos e de conforto em edificações comerciais no Brasil, bem como transmitir conhecimento e ferramentas para que empresas de gestão predial possam realizar os diagnósticos em seus edifícios, ajudando a difundir essa prática essencial para a redução do consumo de energia no país.

Este trabalho é resultado dos serviços de diagnóstico energético e aplicação da pesquisa de conforto dos usuários realizado pela Mitsidi Projetos para as 2 empresas beneficiárias, a Auxiliadora Predial e o Grupo Orion. Com base nos dados e resultados dos trabalhos em 8 edifícios corporativos de escritório, este relatório tem como objetivo fazer a análise crítica dos dados de forma agregada, com a geração de indicadores para avaliação geral do projeto.

Para manter o anonimato dos dados nos gráficos e avaliações presentes nesse relatório, os edifícios serão identificados apenas de forma numérica nos próximos capítulos.

Este produto representa o item 2.6 do edital (Relatório executivo geral consolidado aprovado), que corresponde ao Produto 13 da Planilha de Preços (Relatório executivo geral consolidado consultoria DEO e avaliação da percepção de conforto do usuário).

## 2. RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DOS 8 EDIFÍCIOS

### 2.1 PROCESSO, CRONOGRAMA E ESCOPO

Os 8 edifícios analisados foram selecionados pelas empresas beneficiárias e aprovadas pela empresa de consultoria energética e pela Eletrobras. Ao todo foram 3 edifícios em Porto Alegre (RS), 1 edifício em São Paulo (SP) e 4 edifícios no Distrito Federal, sendo 5 edificações ocupadas por entidades públicas. O edifício mais antigo é de 1954, com a menor área útil (2.189 m<sup>2</sup>), e está localizado no centro histórico de Porto Alegre e o edifício mais novo é de 2014, com 15.439 m<sup>2</sup>, localizado em Brasília.

De forma geral, os edifícios mais antigos possuem sistemas de ar condicionado com *splits* e ar condicionado de janela (ACJ) e se percebe que no edifício mais novo existe a tecnologia de *Variable Refrigerant Flow (VRF)*. Com exceção do edifício 1, que é de uso de clínicas hospitalares, todos os edifícios avaliados são de uso predominante de escritório.

Tabela 1. Características gerais dos 8 edifícios.

Nº ID	Estado	Categoria	Ano da construção*	Tipo de AVAC	Área útil (m <sup>2</sup> )	Usuário	Tipo de uso
1	RS	Privado	2002 (Novo)	CAG e splits	13.534	Multi locatário	Clínicas
2	RS	Privado	1954 (Antigo)	Multisplit e splits	2.189	Monousuário	Escritório
3	SP	Privado	1967 (Antigo)	Splits	19.786	Multi locatário	Escritório
4	RS	Público	2007 (Novo)	Multisplit	3.090	Monousuário	Escritório
5	DF	Público	2013 (Novo)	CAG	12.341	Monousuário	Escritório
6	DF	Público	1972 (Antigo)	Splits e ACJ	16.800	Monousuário	Escritório
7	DF	Público	2008 (Novo)	CAG	12.670	Monousuário	Escritório
8	DF	Público	2014 (Novo)	VRF	15.439	Monousuário	Escritório

\*Foi considerado "Antigo" os edifícios construídos antes do ano 2000.

Os serviços de consultoria foram realizados em 2 etapas de trabalho em cada edifício: diagnóstico energético e aplicação da pesquisa de conforto dos usuários.

Na etapa de diagnóstico energético foi feita uma avaliação baseada no nível 2 da ASHRAE/CBCS e envolveu as seguintes fases de trabalho: reunião de *kick-off* com o cliente, coleta de dados (faturas de energia, plantas de arquitetura, elétrica, ar condicionado, PMOC e outros documentos relevantes), visita técnica *in loco* (1 ou 2 dias), com a presença de 2 a 4 profissionais de arquitetura/engenharia para realização de levantamento dos principais sistemas consumidores de energia (ar condicionado, CPD, iluminação, cargas de tomada, elevadores, bombas de água, etc.) e eventuais medições instantâneas ou temporárias em quadros elétricos. Após a visita, foi feita a análise de dados e elaboração de um

Relatório diagnóstico com a identificação de Medidas de Eficiência Energética (MEEs) com estimativas de custo, economias e *payback*.

Na segunda etapa de trabalho, com o auxílio do RH e dos gestores do edifício, foi feita a aplicação de questionário de percepção de conforto do usuário em meio digital (Google *forms*) ou físico (em papel). A pesquisa de conforto avaliou aspectos de arquitetura, conforto térmico, iluminação, ruído, saúde, entre outros e foi aplicada para os usuários do edifício (servidores, terceirizados, estagiários), que possuíam estação de trabalho fixa e permaneciam um tempo considerável no edifício. As fases de trabalho envolveram a divulgação de e-mail informativo, prévio à aplicação da pesquisa, a afixação de *flyers* informativos nos andares, a aplicação da pesquisa, normalmente de 2 a 3 semanas (*online*) ou em 1 a 3 dias (em papel), a compilação e análise dos dados, a identificação de medidas prioritárias para melhoria de conforto com estimativas de custo de investimento e a elaboração de relatório final.

Como produto para cada um dos 8 edifícios, resultante das 2 etapas de trabalho, foi entregue um Relatório Final único contendo as Medidas de Eficiência Energética e Conforto encontradas na Edificação, listadas em ordem de prioridade de implementação, com estimativas de custo de investimento, economias e tempo de *payback*. Após a entrega dos relatórios, foi feita uma apresentação presencial para as 2 empresas beneficiárias com os resultados da avaliação de cada edifício.

Em relação ao cronograma, os diagnósticos energéticos e as pesquisas de conforto foram realizadas nas seguintes datas:

Tabela 2. Datas de realização dos diagnósticos e avaliação de conforto.

Nº ID	Usuário	Estado	Diagnóstico de energia	Pesquisa de conforto	Taxa de respostas da pesquisa
1	Multi locatário	RS	29 a 30/10/18	17 a 25/01/19 (em papel)	70% (69 de 98)
2	Monousuário	RS	30/10/18	13 a 30/11/18 (digital)	42% (130 de 312)
3	Multi locatário	SP	04/12/18	21/01/19 a 08/02/19 (em papel)	42% (114 de 269)
4	Monousuário	RS	10/01/19	28/01/19 (em papel)	90% (84 de 93)
5	Monousuário	DF	11/02/19	13 a 30/11/19 (em papel)	67% (133 de 200)
6	Monousuário	DF	13/02/19	26/02/19 a 25/03/19 (digital)	31% (31 de 101)
7	Monousuário	DF	18/03/19	24/04/19 a 03/05/19 (digital)	238 respostas*
8	Monousuário	DF	20/03/19	11 a 26/03/19 (em papel)	75% (150 de 200)

\*Não foi informado quantas pessoas visualizaram a pesquisa online.

É importante destacar que o cronograma original do projeto sofreu alterações em função dos feriados e das férias do final de ano de 2018 e início de 2019, que não estavam consideradas no cronograma inicial e também devido à dificuldade de aplicação da pesquisa de satisfação dos usuários nos edifícios. Principalmente nos edifícios públicos de Brasília, houve dificuldades da implementação da pesquisa em

função da instabilidade de cargos no novo governo, questões burocráticas e receios dos resultados devido às reclamações dos usuários. Esse último item também está descrito no capítulo 2.6 do relatório. As alterações, no entanto, não interferiram no caminho crítico do projeto.

## 2.2 MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO ENERGÉTICA

Ao todo foram encontradas 170 medidas de energia e conforto nos 8 edifícios avaliados, em uma média de 21 medidas por edifício.

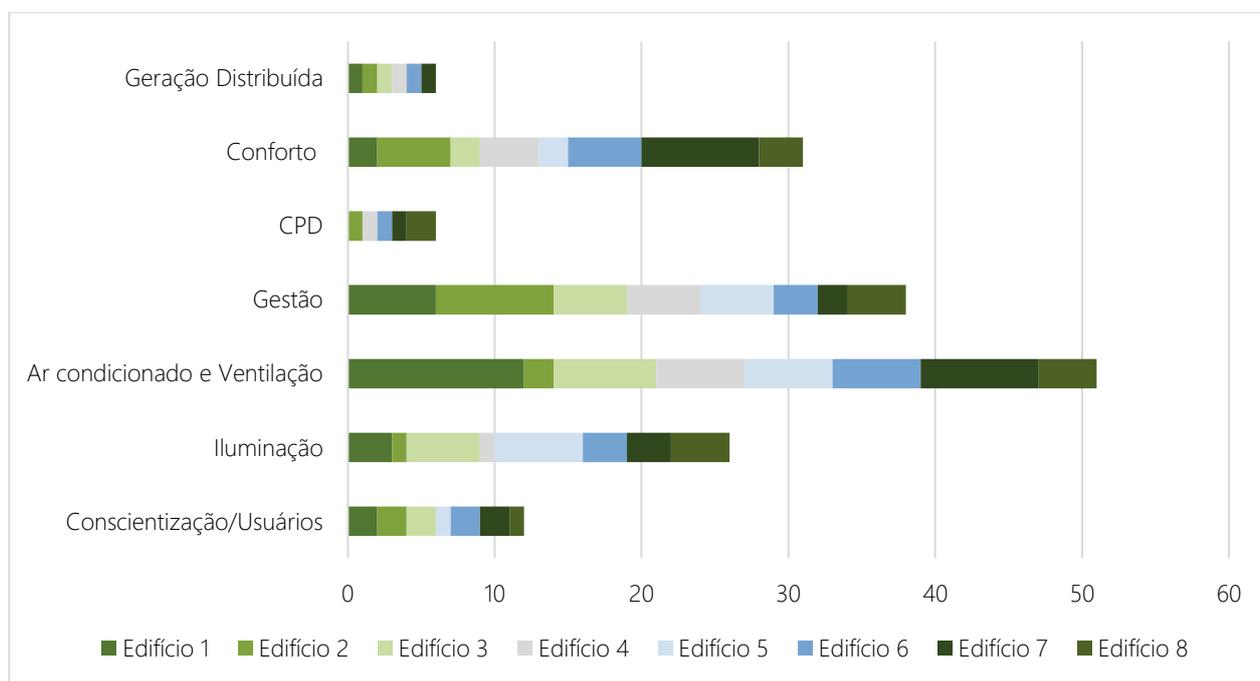


Figura 1. Quantidade de medidas encontradas nos 8 edifícios.

Os resultados do diagnóstico mostraram que a maior parte das medidas (30%) foram relacionadas a medidas no sistema de ar condicionado e ventilação. Medidas de Plano de Manutenção Operação e Controle (PMOC), retrocomissionamento, balanceamento do sistema, tomada de ar externo e renovação de ar foram medidas recorrentes.

A segunda medida mais encontrada (22%) foi relacionada à gestão energética dos edifícios, que identificou a necessidade de um gestor predial de energia, revisões de contrato de eletricidade ou GLP, monitoramento de faturas e anomalias de consumo e medição de outras variáveis (temperatura, umidade, CO), ajustes de programação horária de sistemas e políticas internas de operação do edifício.

Já a terceira medida foi relacionada à Iluminação, com as recomendações foram: troca de lâmpadas fluorescentes e dicróicas por LED, alteração de horário de operação, automatização com temporizadores, fotocélulas, sensores, divisão de circuitos e também identificação de separação de iluminação de tarefa e de ambiente.

Medidas relacionadas à campanha de sensibilização e boa prática dos usuários também foram frequentes nos edifícios. Outras medidas identificadas foram sobre *layout* e otimização de CPDs, estratégia operacional, ventilação de subsolos, proteção solar e sombreamento de fachada e readequação e identificação de quadros elétricos.

Medidas não relacionadas à eficiência energética, como questões de conforto dos usuários, saúde e geração fotovoltaica também foram analisadas em cada edifício. As medidas de conforto serão detalhadas no próximo capítulo.

Como conclusão desta etapa de trabalho, percebe-se que o maior desafio das edificações ainda continua sendo a operação do ar condicionado nas edificações, principalmente em sistemas centrais e que ainda não há um gestor predial voltado às atividades de gestão de energia.

As medidas de eficiência energética e de gestão de energia foram distribuídas entre zero custo, caracterizadas por investimentos de zero a R\$ 100 para a implantação, baixo custo, variando de R\$ 101 a R\$ 10.000 e médio e alto custo, que são medidas que apresentam um custo de investimento acima de R\$ 10.000.

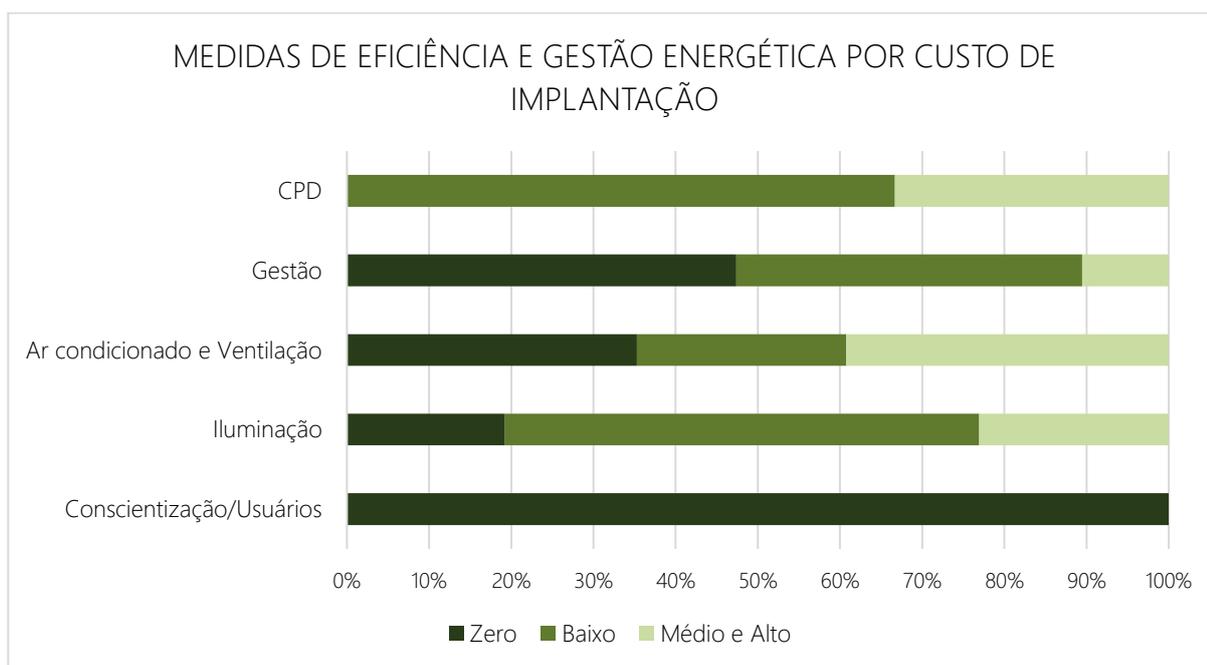


Figura 2. Distribuição das medidas de eficiência energética e gestão energética por custo de implantação.

Através da Figura 2 é possível perceber que a maioria das medidas listadas (40%) são de zero custo, e estão fortemente relacionadas as medidas de conscientização dos usuários, gestão de energia e boas práticas do uso dos equipamentos de ar condicionado e iluminação. Já medidas que necessitam de um investimento inicial de médio custo, estão, em sua maioria, relacionadas ao CPD e a iluminação.

## 2.3 MEDIDAS DE CONFORTO MAIS ENCONTRADAS

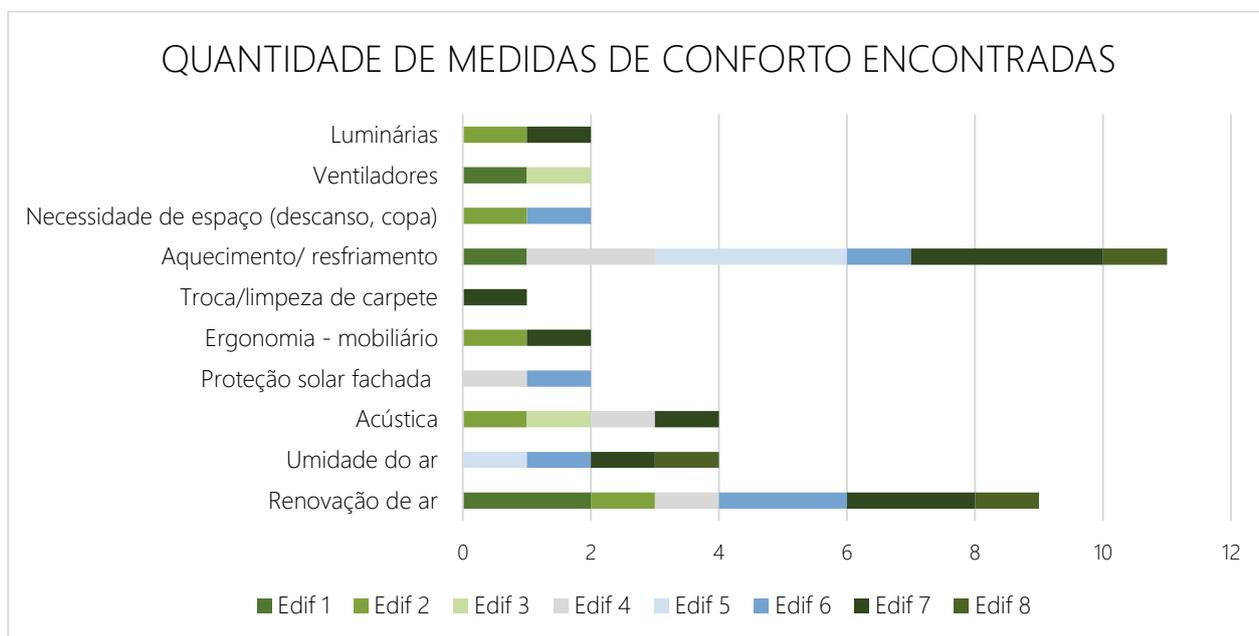


Figura 3. Total de medidas de conforto encontradas nos 8 edifícios.

Ao todo foram obtidas 949 respostas da pesquisa de satisfação dos usuários aplicadas nos 8 edifícios. A partir das avaliações foram identificadas pelo menos 39 medidas exclusivas para conforto, que estão detalhadas no relatório de diagnóstico entregue para cada edifício.

Os resultados da pesquisa apontam que, de forma geral, o maior problema de desconforto é a questão de aquecimento (no caso de edifícios do Rio Grande do Sul) e resfriamento dos ambientes de trabalho. Foi observado que, principalmente em edifícios envidraçados, em um mesmo ambiente podem existir pessoas confortáveis e desconfortáveis devido à proximidade de estações de trabalho às janelas ou fachadas com insolação direta, ou posicionamento do difusor de ar condicionado muito próximo a um usuário.

Durante algumas visitas técnicas, em mais de 2 edifícios, em um dia de calor de Brasília, foi visto pessoas com muito frio, vestindo mantas e agasalhos para conseguir trabalhar no interior do edifício, em locais próximos à casa de máquinas, e ao mesmo tempo, usuários no final do ramal do duto de ar condicionado com muito calor. Isso significa que existem problemas com desbalanceamento de ar condicionado e indica que o edifício está consumindo mais energia do que deveria em sistema de ar condicionado central e ainda sim está trazendo desconforto para os usuários.

Também foram identificados problemas de barulho, oriundos de ambiente externo (avenidas movimentadas) e interno (excesso de conversa dos colegas de trabalho) principalmente em espaço do

tipo *open space*, local onde essas reclamações foram mais frequentes. Em Brasília, principalmente, foi visto que há muitos problemas de ar seco por conta da baixa umidade relativa durante o ano. Outras medidas identificadas foram sobre lâmpadas e luminárias que geravam ofuscamento, falta de movimentação de ar no verão, ausência de proteção solar de fachadas envidraçadas, problema de cadeiras antigas ou não-ergonômicas, problemas de rinite por causa de pisos de carpete e falta de espaços destinados para descanso ou copa.

Em resumo, parte dos problemas identificados são provenientes de erros que poderiam ser solucionados na fase de projeto arquitetônico (fachada, acústica, iluminação, ar condicionado e ventilação, umidade, destinação de ambientes de descanso) e a outra parte dos problemas é decorrente da fase de operação e manutenção do edifício, ocasionado por alterações de layout, ocupação, procedimentos operacionais e falta de política de manutenção.

## 2.4 INDICADORES DE DESEMPENHO E ANÁLISES GERAIS

### 2.4.1 Comparação de EUIs

Para fazer a comparação de eficiência energética dos 8 edifícios foi utilizada a ferramenta de *Benchmarking* de energia desenvolvida pelo CBCS para edifícios públicos e corporativos, que utiliza o indicador *Energy Use Intensity* (EUI), mensurado em kWh/m<sup>2</sup>/ano.

O edifício 1 não foi considerado na comparação pois seu uso principal é de consultórios médicos, uma categoria de edificação que ainda não está contemplada na ferramenta atual de *benchmarking* de energia nacional do CBCS, porém está em fase de desenvolvimento para os próximos anos.

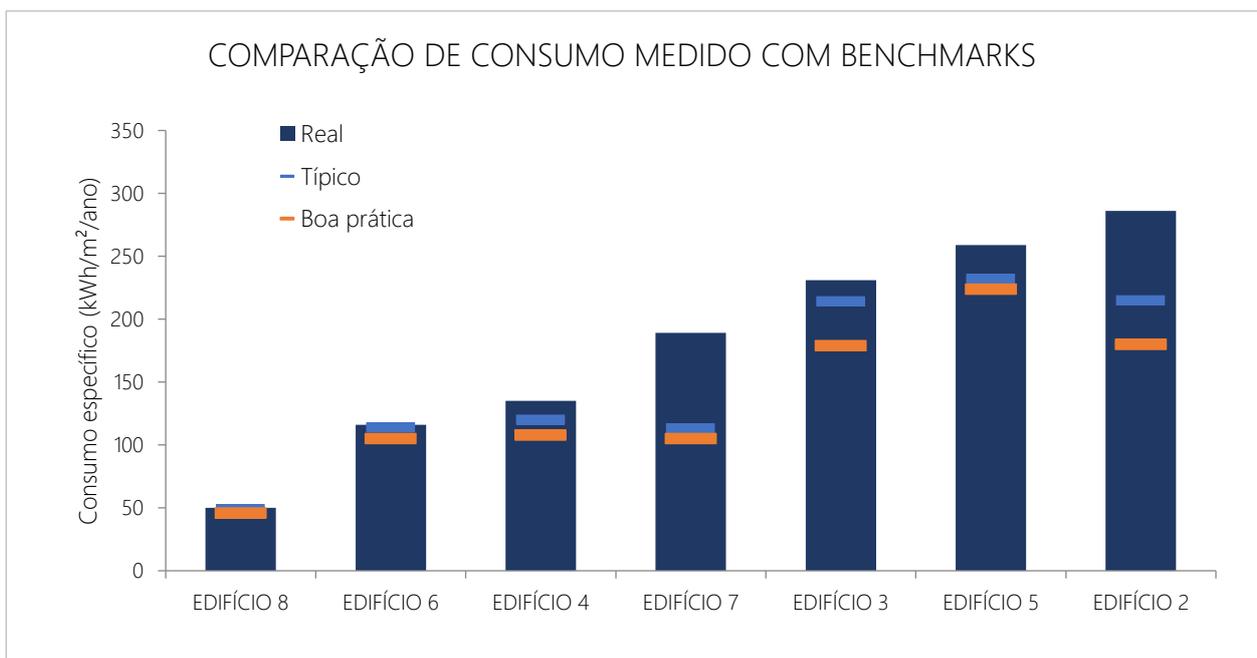


Figura 4. Comparação de EUI dos 7 edifícios.

Tabela 3. Resultados de consumo específico por edifício com o ano de construção.

RESULTADOS		EDIFÍCIO 8	EDIFÍCIO 6	EDIFÍCIO 4	EDIFÍCIO 7	EDIFÍCIO 3	EDIFÍCIO 5	EDIFÍCIO 2
Ano de construção		2014	1972	2007	2008	1967	2013	1967
Consumo específico de energia (kWh/m²/ano)	Real	50	116	135	189	231	259	286
	Típico	49	114	120	113	214	232	215
	Boa prática	46	105	108	105	179	224	180

A partir do gráfico é possível perceber que cada edificação possui o seu nível típico e de boas práticas de consumo na ferramenta de *benchmarking*. Todos os edifícios avaliados possuem grande potencial de eficiência energética e foram classificados como “Ineficientes” se comparados ao nível típico de consumo de outras edificações de mesma categoria, em nível nacional. Os edifícios mais próximos do nível “típico” e “boas práticas” foram os edifícios 8 e 6.

O edifício 8 possui o menor consumo específico dentre os edifícios avaliados pois o consumo de energia considerado não inclui o estacionamento, elevadores e áreas de iluminação externa do complexo na qual o edifício se insere, além disso, o consumo de eletricidade do edifício já foi bastante otimizado na parte ar condicionado, com a automação do acionamento do VRF atrelado ao controle de acesso de cada usuário.

Já o edifício 6 é um edifício público com sistema de ar condicionado individual de *splits*, que representa 40% do consumo elétrico e com uma Central de Processamento de Dados (CPD) significativa, estimada em 20% de consumo do edifício. Os edifícios classificados como mais ineficientes foram os edifícios 7 e

2. Ambos os edifícios possuem grandes deficiências do sistema de ar condicionado, tanto em termos de projeto, como operação.

É interessante observar que a idade da edificação não teve correlação direta com o nível de eficiência energética alcançada pelo edifício, embora o edifício 8, o mais novo da amostra, esteja mais próximo do nível típico de consumo. Isso porque existem outros fatores de operação, manutenção e *retrofit* que também influenciam no desempenho das edificações.

### 2.4.2 Comparação de Indicadores de conforto

Como resultado da avaliação de conforto, que considera as condições do ar em períodos frios e quentes, barulho, iluminação e impacto do edifício sobre a saúde, de forma geral, todos os edifícios tiveram avaliações positivas e ficaram com notas finais acima de 4,0, com exceção do edifício 7. Dentre os edifícios, os melhores avaliados foram os edifícios 8 e 4 com notas acima de 5. O edifício com a menor pontuação de conforto foi o edifício 7 de Brasília, que possui muitos problemas de ar condicionado e teve pontuações baixas em todas as categorias, exceto iluminação.

Como resultado da avaliação nos 8 edifícios, nota-se que de forma geral, o item melhor avaliado foi a Iluminação e o item com pior avaliação foi o de condições do ar interno em períodos quentes, especialmente nos edifícios 6 e 7, ou seja, em ambos possuem uma quantidade significativa de usuários estão desconfortáveis com o calor no verão.

Problemas significativos de barulho foram encontrados em muitos edifícios, em especial nos edifícios 2, 3 e 7. Os edifícios 2 e 3 ficam localizados em regiões centrais, perto de avenidas e ruas com muito fluxo de trânsito e pessoas, portanto, com muito barulho do exterior. Já o edifício 7, teve diversas reclamações de barulho externos e internos (do edifício e de colegas).

Os edifícios 5 e 7 foram classificados como menos saudáveis para os usuários. Em ambos os edifícios, a principal reclamação é sobre o ar condicionado, devido à amplitude térmica durante o dia, falta de limpeza dos equipamentos ou frio exagerado do ambiente de trabalho, que geram enxaqueca, alergia, gripe, rinite, sinusite entre outros problemas. Outros pontos comentados foram poeira em carpetes e cadeiras desconfortáveis.

O edifício 4 foi o mais bem avaliado em Iluminação, tanto em termos de iluminação natural como artificial, sendo um edifício com fachadas de vidro e brises, porém obteve reclamações significativas de ofuscamento ocasionados pelo sol e também pela iluminação artificial.

Enfim, apesar das idades das edificações serem diversas, percebe-se que mesmo edifícios mais antigos (2, 3 e 6) tiveram avaliações melhores do que o edifício 7, mais novo, que possui problemas de projeto e operação.

Tabela 4. Resultados e índice de conforto dos 8 edifícios.

### Avaliação geral

Variável	EDIF 1	EDIF 2	EDIF 3	EDIF 4	EDIF 5	EDIF 6	EDIF 7	EDIF 8	Média
CONDIÇÕES DO AR INTERNO EM PERÍODOS FRIOS, EM GERAL	4,3	4,7	4,2	4,8	3,9	4,5	3,4	4,8	4,3
CONDIÇÕES DO AR INTERNO EM PERÍODOS QUENTES, EM GERAL	3,6	4,3	4,0	4,8	4,0	3,6	3,6	4,8	4,1
BARULHO EM GERAL	4,9	3,6	3,9	4,9	4,8	4,1	3,8	5,2	4,4
ILUMINAÇÃO EM GERAL	5,7	5,5	5,1	6,0	5,7	4,7	5,2	5,9	5,5
IMPACTO DO EDIFÍCIO SOBRE A SAÚDE INDIVIDUAL	4,4	4,2	4,1	4,6	3,8	4,1	3,7	4,6	4,2
<b>Índice de conforto geral</b>	<b>4,6</b>	<b>4,5</b>	<b>4,3</b>	<b>5,0</b>	<b>4,4</b>	<b>4,2</b>	<b>3,9</b>	<b>5,1</b>	

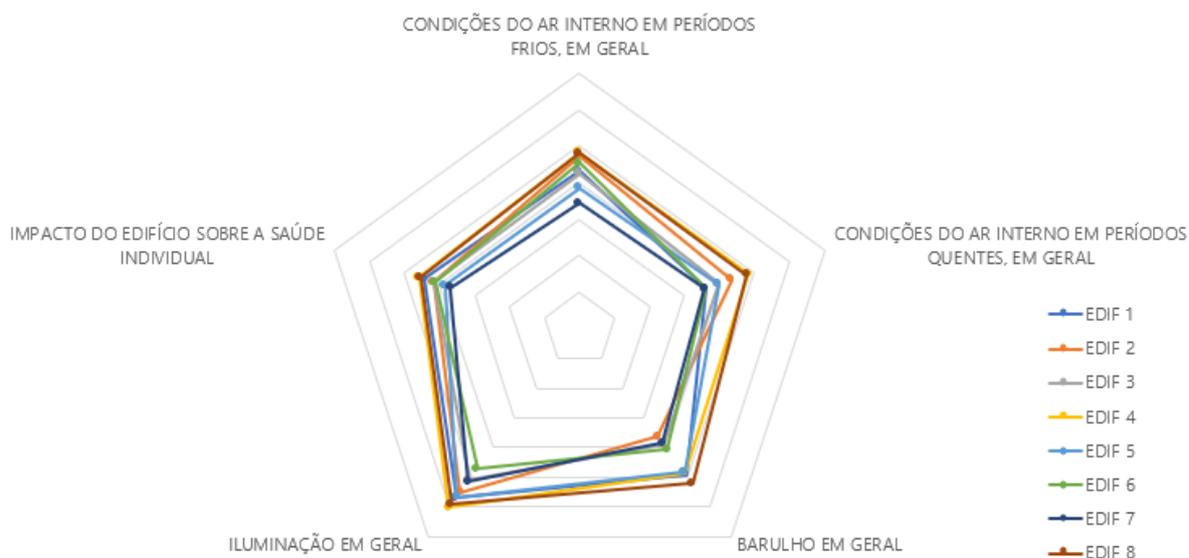


Figura 5. Avaliação geral de conforto.

A fim de evidenciar a relação de variáveis de conforto e a percepção geral de conforto dos usuários, faz-se uma avaliação da relação entre os resultados de conforto e das características dos edifícios. Nestas análises utiliza como ferramenta a linha de tendência linear para se visualizar a proporcionalidade da relação entre as duas variáveis. São previstas a avaliação das seguintes relações: a) relação entre impacto na produtividade e conforto geral; (b) relação entre conforto do mobiliário e o espaço de trabalho; c) relação entre a localidade e o conforto geral nos períodos frios e quentes; d) relação entre o barulho dos colegas e número de ocupantes da sala; e) Relação entre proximidade a uma janela e percepção de luz natural e artificial; f) Relações com o impacto na saúde; g) relação entre conforto no período frio e sistema de AVAC; h) relação entre arquitetura do edifício e conforto geral; e i) relação entre a idade do edifício e conforto geral.

### a) Relação entre impacto na produtividade e conforto geral

O cruzamento entre a percepção do impacto na produtividade e o nível conforto geral de cada um dos edifícios é realizado na Figura 6.

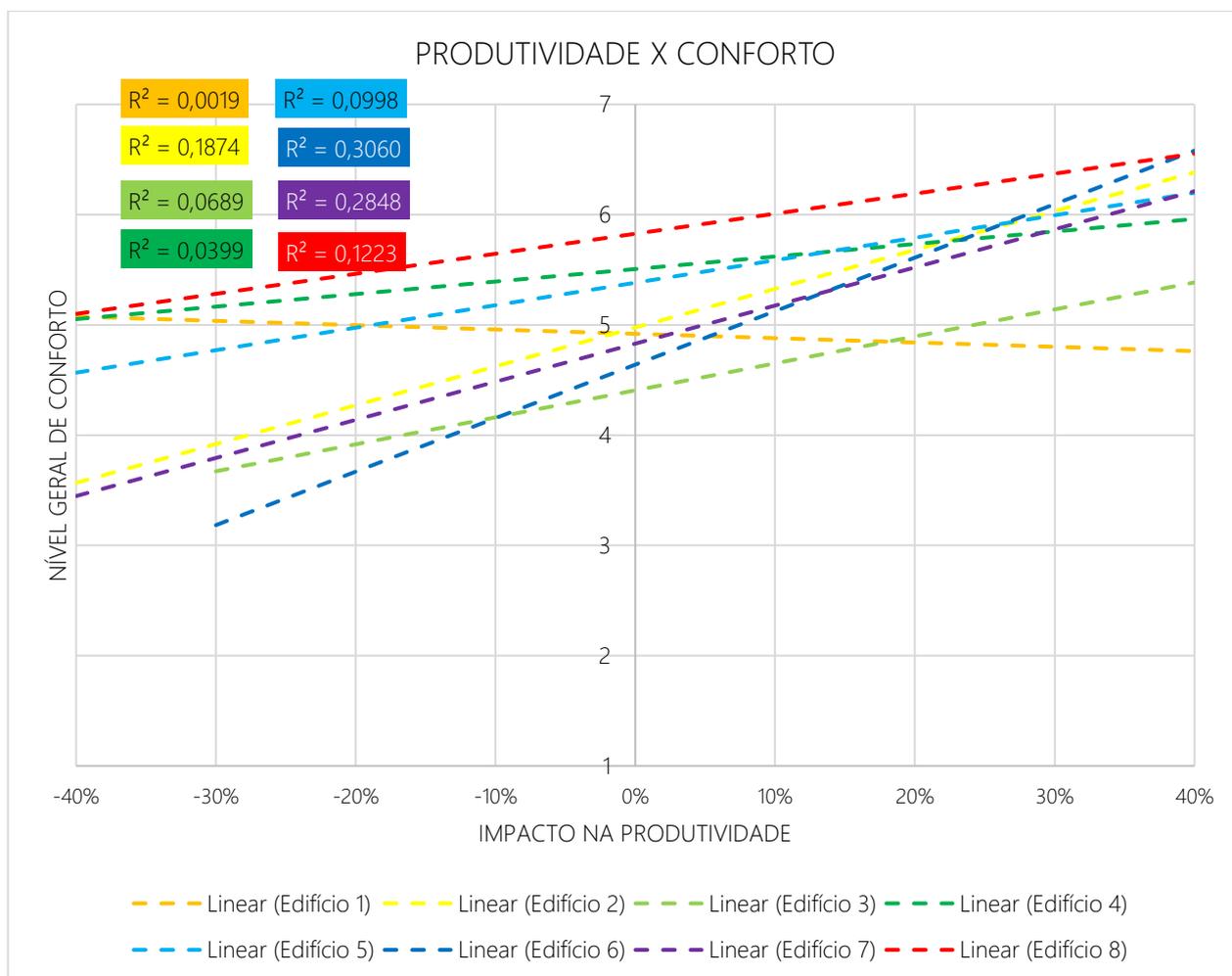


Figura 6. Relação entre produtividade e conforto geral por edifício.

No Edifício 1, apesar de a relação entre impacto na produtividade e percepção de conforto ser positiva, a linha de tendência linear possui baixa representatividade em relação aos dados. De modo geral, os ocupantes do Edifício 1 cuja que identificaram que sua produtividade é impactada negativamente consideraram o conforto geral do edifício satisfatório (acima de 4). A pequena variação de respostas em relação à satisfação do conforto do edifício (valores 4 e 5) auxiliaram na baixa representação da linha de regressão linear.

Os edifícios 2 e 7, de maneira geral, foram aqueles cujas linha de regressão mais se ajusta aos dados coletados. Os ocupantes destes edifícios que disseram ter sua produtividade impactada negativamente em 40% ou 30% consideraram que o conforto geral estava entre 3 e 4, por outro lado, os ocupantes

impactados positivamente em 40% ou mais consideraram o conforto entre 6 e 7, relacionando os dois fatores. A reta segue a tendência esperada, sendo que quanto menor o impacto na produtividade, maior a satisfação com o conforto.

No edifício 3, não houve pessoas que se consideraram impactadas em mais de 40% em sua produtividade, porém houve a concordância com a tendência esperada, ou seja, quanto maior o impacto negativo na produtividade, maior o nível de insatisfação em relação ao conforto geral.

Os edifícios 4, 5 e 8 seguiram a tendência esperada, com respostas mais baixas em satisfação de conforto para maiores impactos negativos na produtividade. O edifício 4 teve conforto por volta de 5 para produtividade -40% e 6 para produtividade de 40% ou mais. O edifício 5 teve conforto entre de 4 a 5 para baixa produtividade e pouco mais de 6 para alta produtividade. O edifício 8 apresentou média de 5 para pouca produtividade e entre 6 e 7 para o oposto.

O edifício 6 teve a melhor relação entre os parâmetros e sem respostas abaixo de -30%, tendo conforto 3 para baixa produtividade e entre 6 e 7 para alta produtividade.

Cruzando o resultado da percepção da produtividade com o resultado do conforto geral de todos edifícios, sem segregação, tem-se o Figura 7.

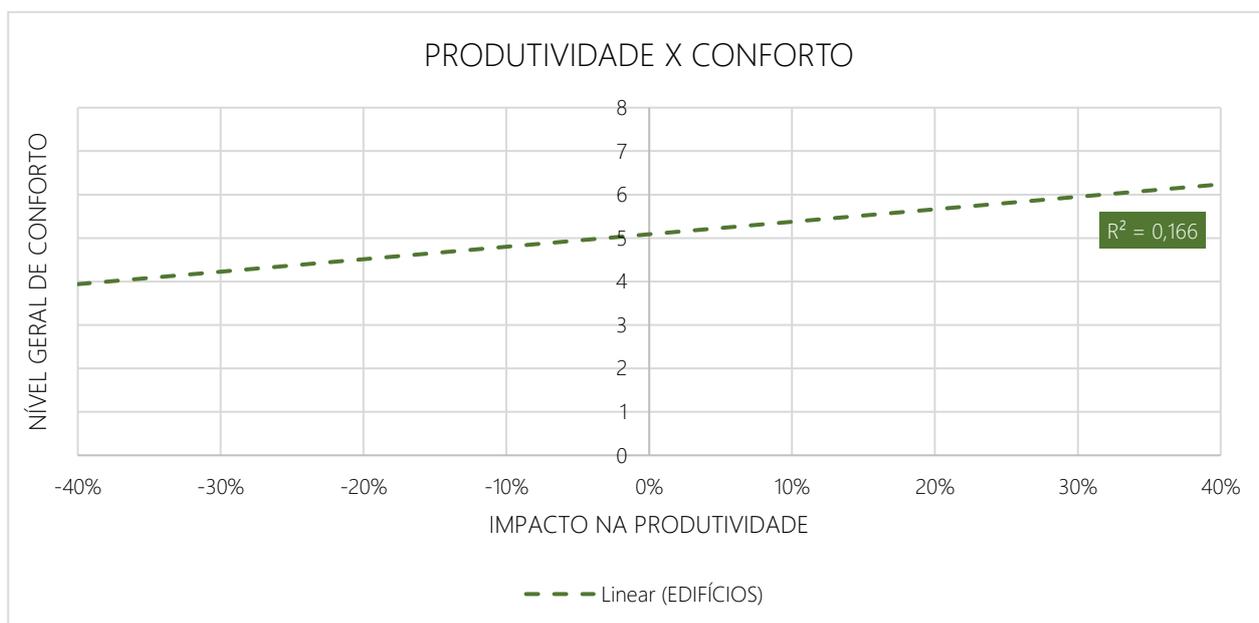


Figura 7. Relação entre produtividade e conforto geral para todos os edifícios.

Na Figura 7 é possível perceber que para produtividade negativa de 40%, a média de conforto ficou mais alta do que a tendência. Esse fenômeno se prolongou até a produtividade de 20% positiva. Para as maiores produtividades, a média foi menor que a tendência. Logo, é possível concluir que para todos os edifícios, existe relação entre os parâmetros analisados, porém com algumas variações em relação à tendência esperada.

### b) Relação entre conforto do mobiliário e o espaço de trabalho

Duas relações foram feitas para identificar a relação do conforto do mobiliário e o espaço de trabalho. A primeira relacionou esta percepção de conforto com a ajustabilidade da área de trabalho, ou seja, a contagem de respostas (sim/não) sobre se o espaço de pode ser ajustado ou personalizado. A Figura 8 mostra o cruzamento destas informações.

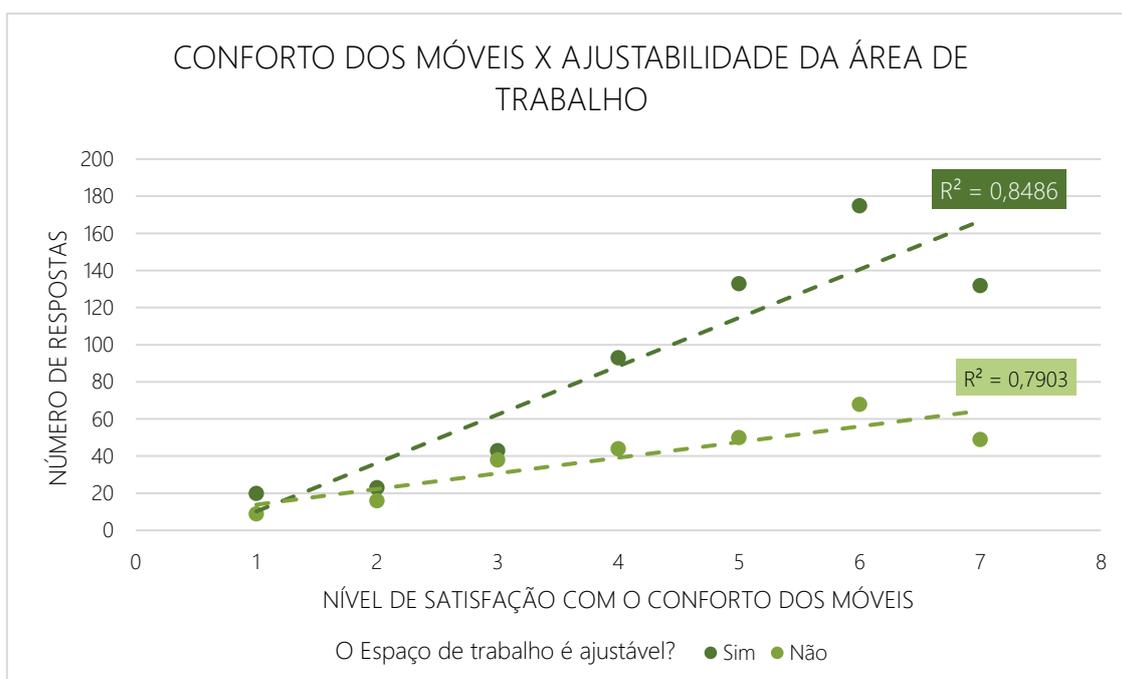


Figura 8. Relação entre o conforto do mobiliário com a ajustabilidade da área de trabalho.

Pelo gráfico, podemos verificar que há uma correlação entre ajustabilidade da área de trabalho com o conforto dos móveis na área de trabalho dos respondentes. Percebe-se que quanto menor o nível de conforto, este se torna independente da ajustabilidade da área de trabalho, pois a quantidade de respostas 'Sim' e 'Não' é muito próxima. À medida que os níveis de conforto aumentam, o número de respostas 'Sim' para a ajustabilidade aumenta, embora haja, também, um aumento menos acentuado nas respostas 'Não'.

### c) Relação entre a localidade e o conforto geral nos períodos frios e quentes

Esta relação foi feita para se verificar o quanto os respondentes percebem a temperatura externa. A Figura 9 apresenta a quantidades de resposta de acordo com o nível de conforto dos usuários em períodos frios por estado o qual o edifício está localizado.

Percebe-se que em todos os estados, o nível de conforto não aumenta de acordo com o número de respostas. O maior quantitativo de resposta está localizado no Distrito Federal uma vez que este

apresenta o maior número de edifícios avaliados. O maior número de respostas nos estados do Distrito Federal e São Paulo está em 4, enquanto no Rio Grande do Sul, em 5.

A maior correlação entre aumento de número de respostas e da percepção do conforto em períodos frios é verificada no estado do Rio Grande do Sul, o que não era esperado já que é a localidade que apresenta períodos frios mais rigorosos. Isto pode ter ocorrido pois os edifícios neste local possuem aquecimento interno.

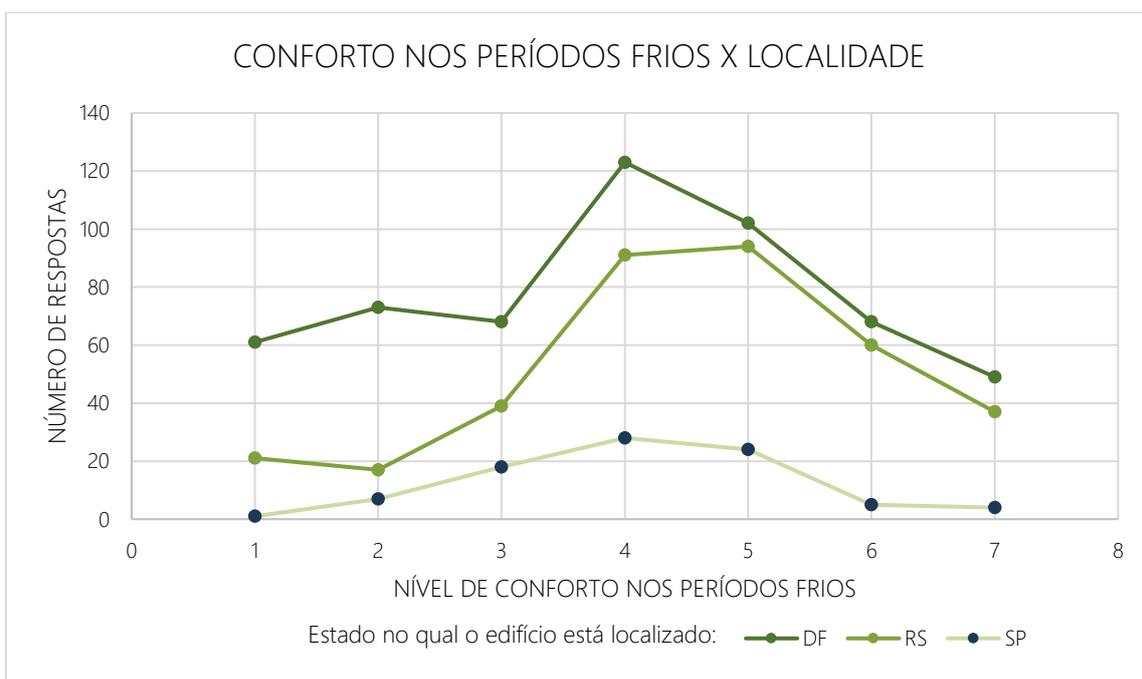


Figura 9. Relação entre localidade e conforto nos períodos frios.

Já a Figura 10 apresenta a quantidades de resposta de acordo com o nível de conforto dos usuários em períodos quentes por estado o qual o edifício está localizado.

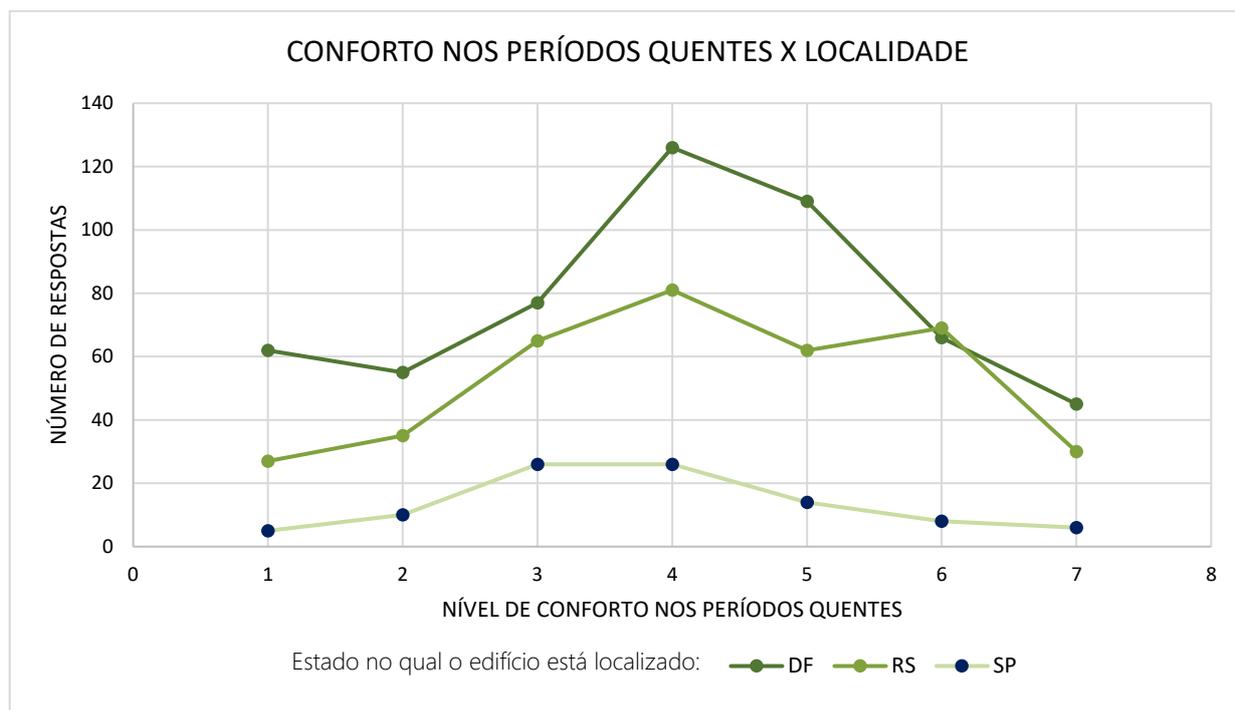


Figura 10. Relação entre localidade e conforto nos períodos quentes.

Pode-se notar que tal qual em períodos frios, a regressão linear possui baixa aderência aos dados ao qual ele se endereça. A menor aderência encontrada está no estado do Distrito Federal, com valor de R-quadrado tendendo a zero.

O maior número de respostas em todos os estados está no nível de conforto assinalado como 4. No Distrito Federal é possível perceber que houve predominância nas respostas medianamente satisfatórias (entre 4 e 5). No Rio Grande do Sul, o nível de conforto satisfatório foi levemente maior, o que não era esperado, pois o local apresenta períodos quentes e úmidos. Já em São Paulo, o, o nível de desconforto foi ligeiramente maior, que pode ser explicado pelo fato que o local possui um clima ameno durante todo o ano.

#### d) Relação entre o barulho dos colegas e número de ocupantes da sala

A Figura 11 correlaciona a quantidade de respostas com o nível de incômodo com barulho dos colegas por número de ocupantes na sala. Percebe-se que essa tendência foi confirmada pela Figura 11, onde as maiores relações se estabeleceram para salas ocupadas apenas por uma pessoa e salas ocupadas por mais de oito pessoas.

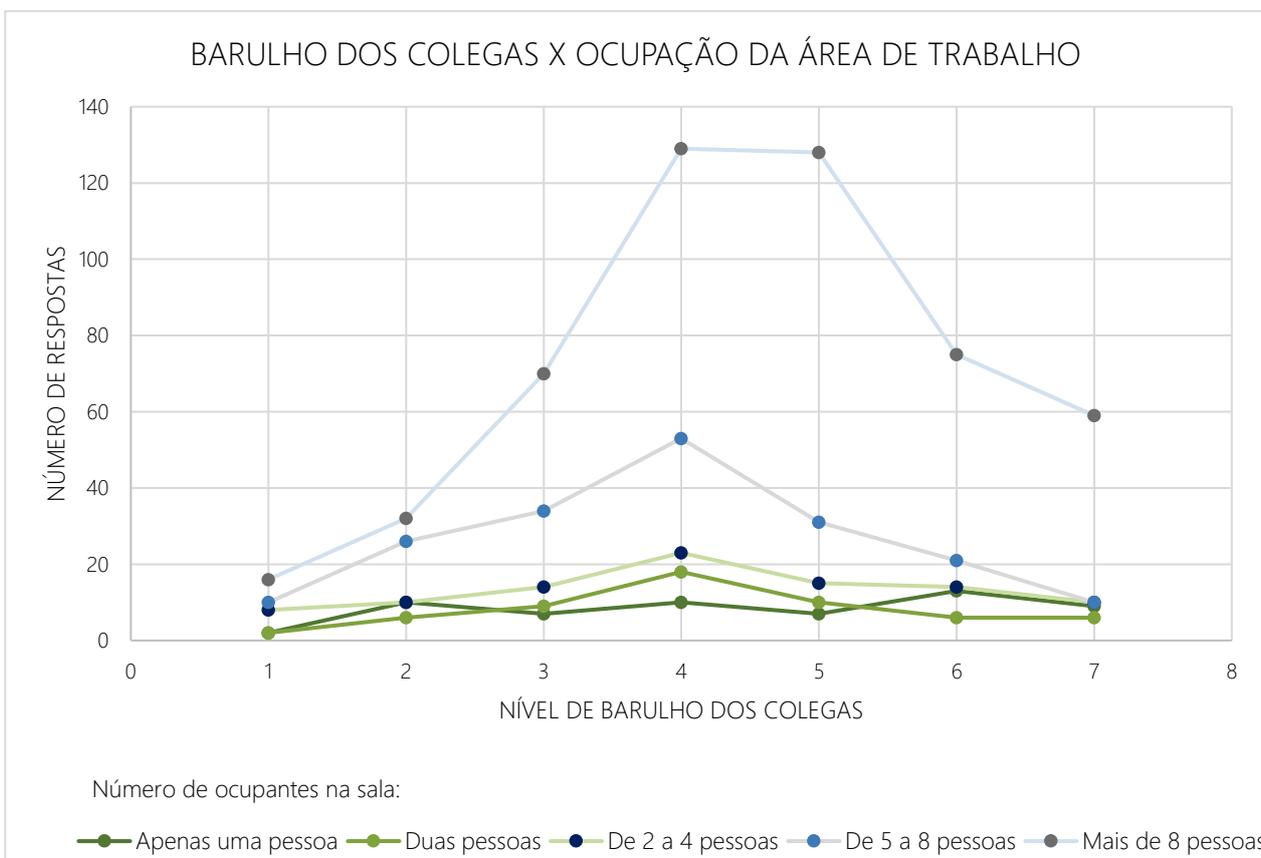


Figura 11. Relação entre barulho dos colegas e ocupação da área de trabalho.

**e) Relação entre proximidade a uma janela e percepção de luz natural e artificial**

As figuras a seguir procuram fazer a relação entre a proximidade entre uma janela e a percepção de luz. É esperado que quanto mais próximo a uma janela mais luz natural e quanto mais longe, mais luz artificial.

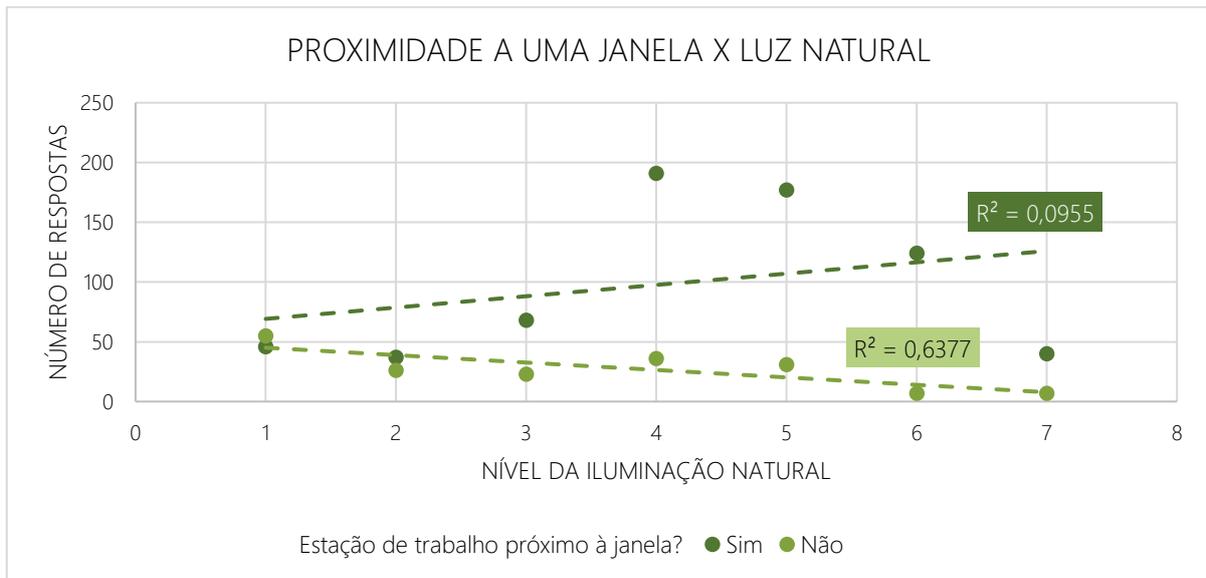


Figura 12. Relação entre proximidade a uma janela e quantidade de luz natural percebida.

A Figura 12 mostra que a relação linear entre o número de respostas e a percepção do nível de luz é maior para a resposta "Não". Para estações de trabalho próximas à janela percebe-se que o maior número de respostas se encontra em 4, o qual corresponde uma quantidade adequada de luz natural. Analisando-se em média, quanto mais respostas próximas a uma janela, mais exagerada foi a luz natural. Para as respostas "Não", percebe-se uma relação inversamente proporcional entre a quantidade de respostas e a percepção do nível de iluminação natural. Assim, nota-se maior o número de respostas para muito pouca iluminação natural (1) e menor número de respostas para níveis de iluminação natural considerados exagerados (6 e 7).

O Figura 13 revela que, análogo à percepção de iluminação natural, a correlação linear entre o número de respostas e a percepção do nível de iluminação artificial é maior para as respostas "Não". Percebe-se que quanto maior o número de respostas "Sim", maior o nível de conforto respondido (4). Analisando-se a média, quanto mais respostas próximas a uma janela, mais exagerada era a luz artificial. Já para as respostas "Não", percebe-se uma tendência de aumento no número de respostas com o aumento do nível de iluminação artificial, uma vez que o número de respostas é maior para níveis de conforto com notas a partir do 4.

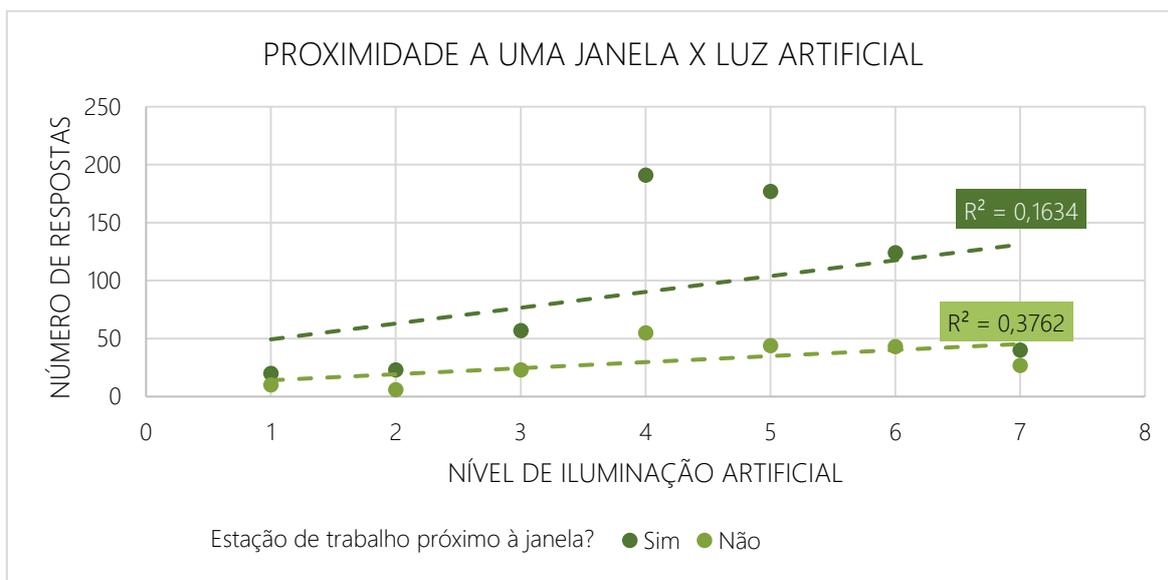


Figura 13. Relação entre proximidade a uma janela e quantidade de luz artificial percebida.

#### f) Relações com o impacto na saúde

Em relação ao impacto do edifício na saúde, na Figura 14 procurou-se estabelecer a relação entre o impacto na saúde e a necessidade mudança de comportamento devido às condições físicas do prédio.

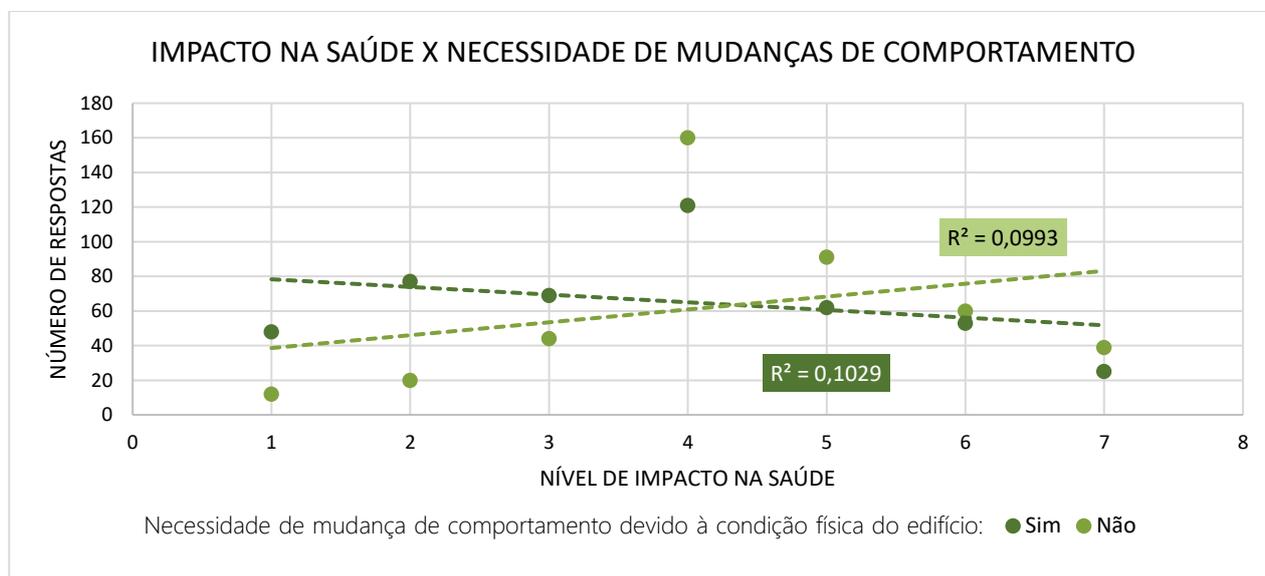


Figura 14. Relação entre impacto na saúde e mudanças de comportamento.

De acordo com a Figura 14, pode-se notar que a existência ou não de necessidade de mudança de comportamento tem pouca correlação linear com a percepção do impacto na saúde. A maior parte dos ocupantes avalia como neutro o impacto na saúde nos edifícios, independentemente da existência

de necessidade da mudança de comportamento. A percepção de ocupantes que considera que o edifício impacta negativamente na saúde (resposta de 1 a 3) é maior onde há mudança de comportamento que onde não há mudança. Por outro lado, a percepção de ocupantes que considera que o edifício impacta positivamente na saúde (resposta de 4 a 7) é maior onde não há mudança de comportamento do que onde há mudança.

### g) Relação entre conforto no período frio e sistema de AVAC

A relação entre o sistema AVAC do edifício e a satisfação geral do usuário está apresentada na Figura 15. Nela, vemos que os usuários sentem mais desconforto para sistemas de Central de água gelada (CAG) e se sentem mais confortáveis em sistemas *Split* e *Multisplit* e VRF nesta ordem, ou seja sistemas de expansão direta. Isso pode estar relacionado ao controle mais personalizado dos sistemas individuais em relação aos sistemas centralizados. O sistema *split* individual tem índice positivo, mas mais baixos que os outros já citados. A correlação linear entre o tipo do sistema de condicionamento e o nível geral de conforto é maior no sistema de expansão direta que é utilizado apenas no Edifício 2.

A Figura 16 cruza o tipo de sistema AVAC com a percepção de conforto em períodos quentes, a fim de averiguar se há uma correlação maior do que o nível de conforto geral. Entretanto, verifica-se que esta correlação é menor.

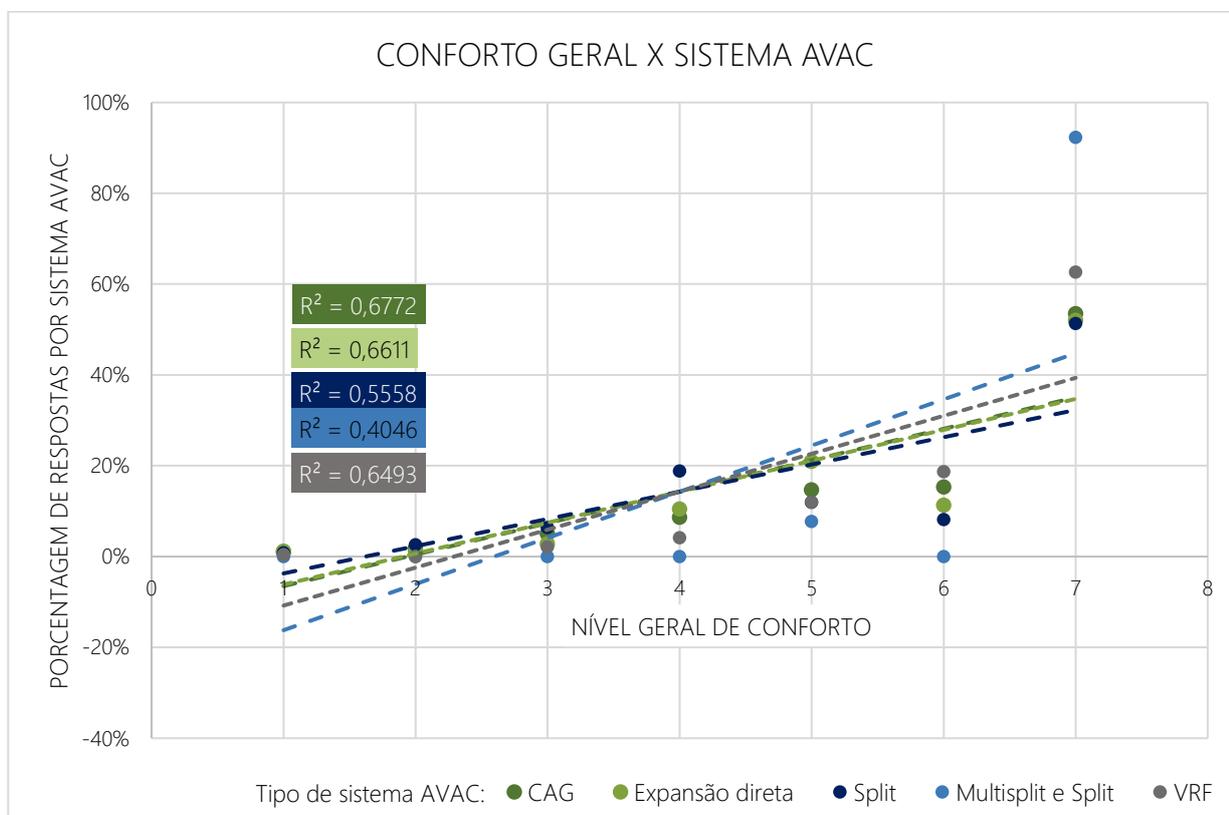


Figura 15. Relação entre nível geral de conforto e tipo de sistema AVAC.

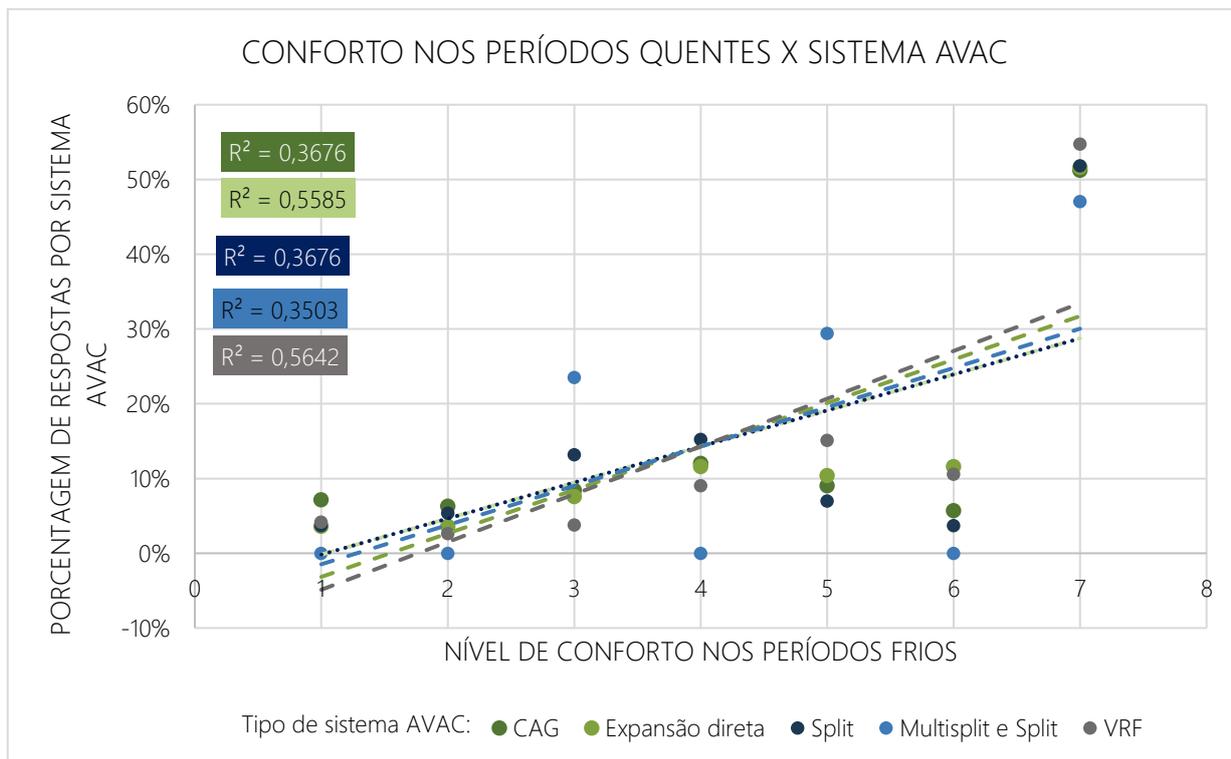


Figura 16. Relação entre nível de conforto nos períodos frios e tipo de sistema AVAC

### h) Relação entre arquitetura do edifício e conforto geral

A relação entre a avaliação quanto a arquitetura do edifício e a percepção do conforto geral foi feita no gráfico abaixo:

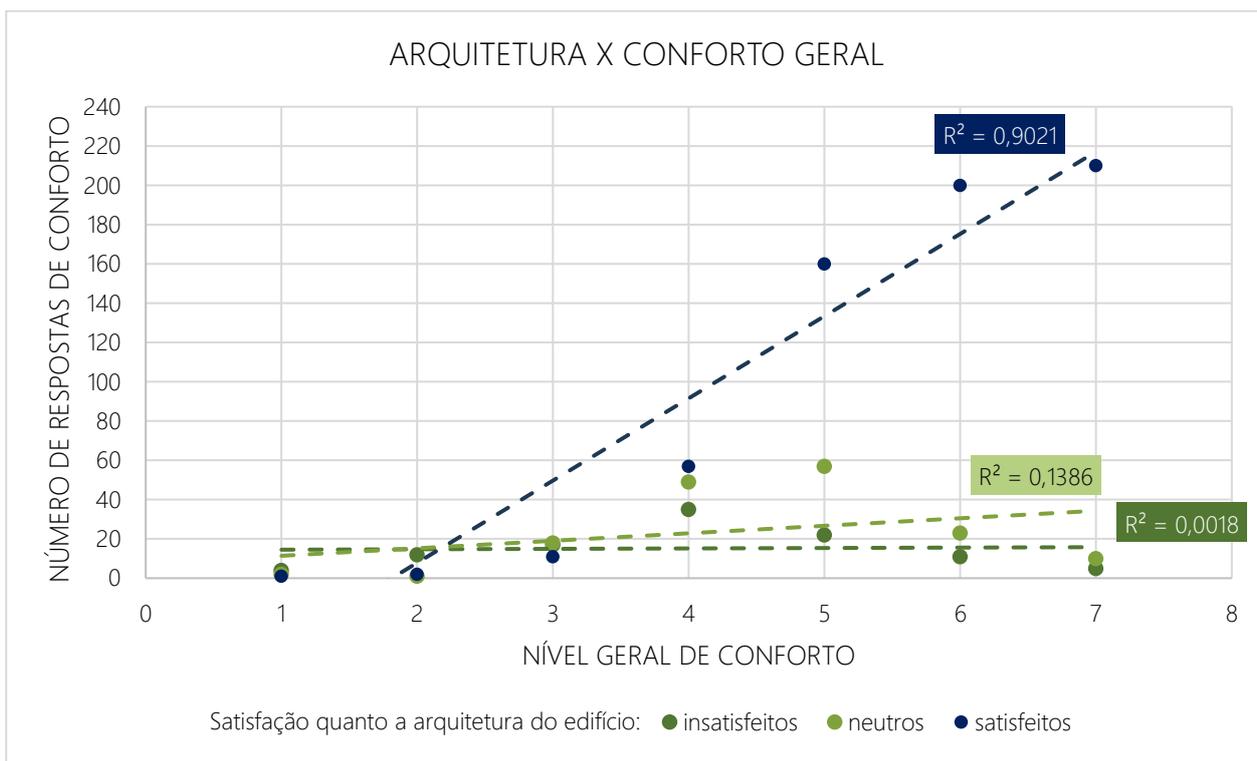


Figura 17. Relação entre a avaliação quanto a arquitetura do edifício e o conforto geral.

A Figura 17 mostra que a grande maioria das pessoas que se disseram satisfeitas com o conforto avaliaram positivamente a arquitetura do edifício. Foram considerados “insatisfeitos” as respostas com nota de 1 a 3, a nota 4 foi considerada “neutra” e as notas de 5 a 7 foram tidas como “satisfeitos”. Para as pessoas satisfeitas, há uma boa correlação linear entre o nível de conforto e o número de respostas. Esta correlação linear não é observada para ocupantes insatisfeitos ou neutros quanto á arquitetura do edifício. As respostas neutras avaliaram positivamente a arquitetura, apesar de não tanto quanto as satisfeitas. Os insatisfeitos tiveram as respostas constantes para todos os níveis de avaliação da arquitetura.

### i) Relação entre a idade do edifício e conforto geral

Procurou-se representar na Figura 18 a relação entre a idade do edifício e a percepção do conforto geral. Novamente, foram considerados “insatisfeitos” as respostas com nota de 1 a 3, a nota 4 foi considerada “neutra” e as notas de 5 a 7 foram tidas como “satisfeitos”.

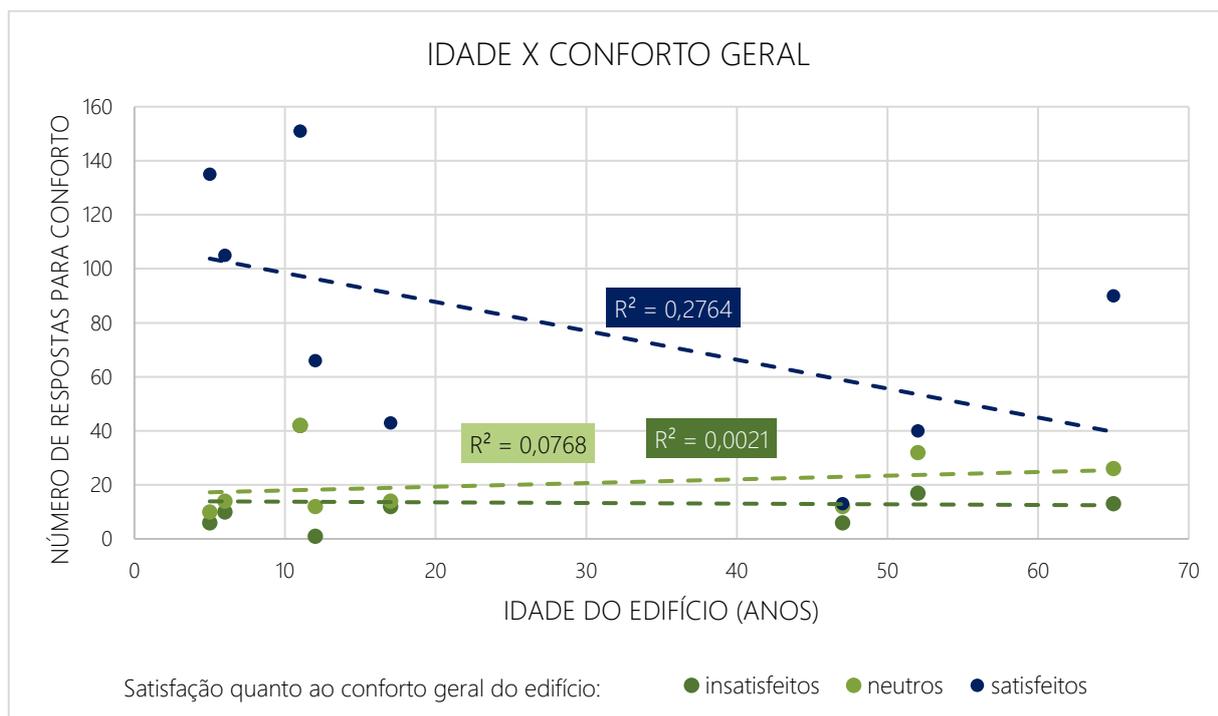


Figura 18. Relação entre a idade do edifício e o conforto geral.

Analisando a Figura 18, pode-se perceber que não há edifícios com uma idade entre 20 e 45 anos, sendo o número de respostas maior dentro da faixa entre 0 e 15 anos. De modo geral, averigua-se que o número de satisfeitos cai quando os edifícios apresentam idades mais avançadas, mostrando que existe uma relação inversamente proporcional entre os parâmetros. O número de neutros aumenta com a idade do edifício e os insatisfeitos permanecem relativamente constantes nas diferentes idades.

### 2.4.3 Consumo por uso final

O consumo total de energia elétrica por uso final é apresentado na Figura 19, sendo que o uso classificado de “outros” inclui usos menos relevantes como: exaustão de ar, elevadores, bombeamento de água, cargas de cozinha e cargas do sistema ininterrupto de energia (baterias, *no-breaks*, etc.).

Verifica-se que salvo o edifício 5 é o com o maior consumo total e é, também, aquele no qual o uso final que apresenta maior consumo de energia anual é o condicionamento do ar, representado pela refrigeração, rejeição de calor e ventilação. Neste edifício o CPD representa 65 % do consumo total, devido às características específicas das atividades desenvolvidas dentro do edifício. Por outro lado, o edifício 1 não possui carga dedicada para CPD's.

Os edifícios com consumo mais baixo são os edifícios 4 e 2, ambos com representação do sistema de condicionamento acima de 45 %.

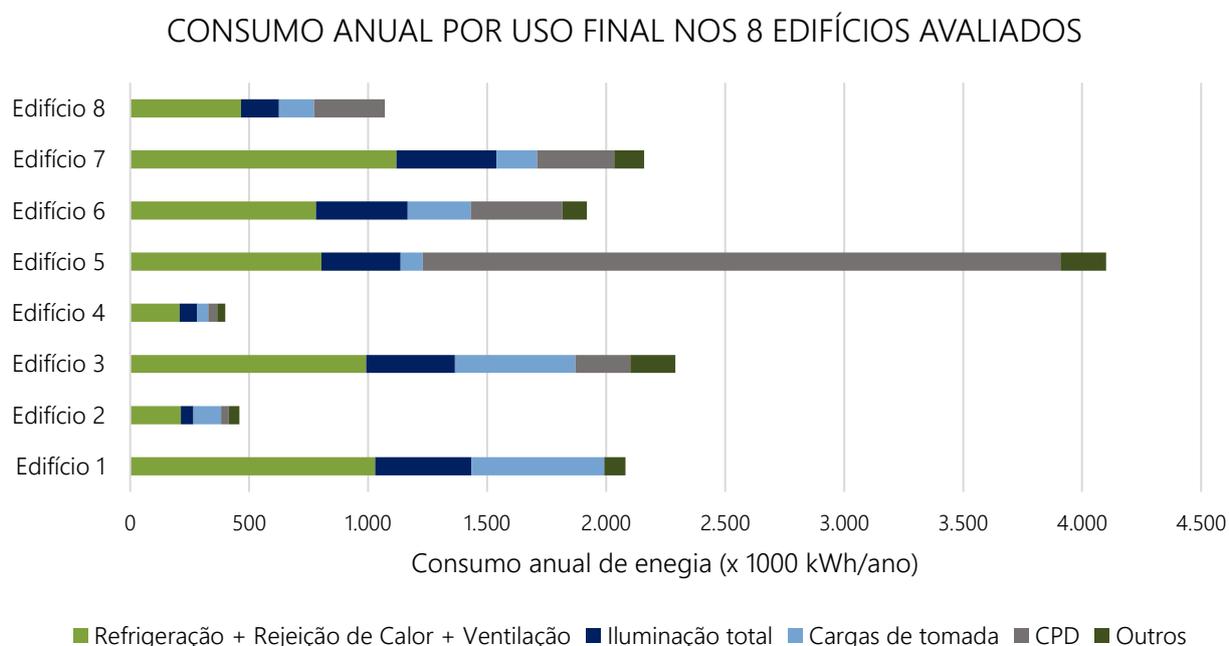


Figura 19. Consumo anual total dos tipos de uso final nos 8 edifícios.

Normalizando os dados da Figura 19 de acordo com a área útil total dos edifícios, tem-se a Figura 20. Percebe-se que apesar de o edifício 5 permanecer com a com maior intensidade de uso energético, o segundo edifício que mais consome deixa de ser o edifício 3 e passa a ser o edifício 2, uma vez que este possui uma contribuição de carga de tomada alta em comparação aos demais. Análogo ao edifício 2, quando se divide pela área útil total, o consumo específico do edifício 4 torna-se mais alto.

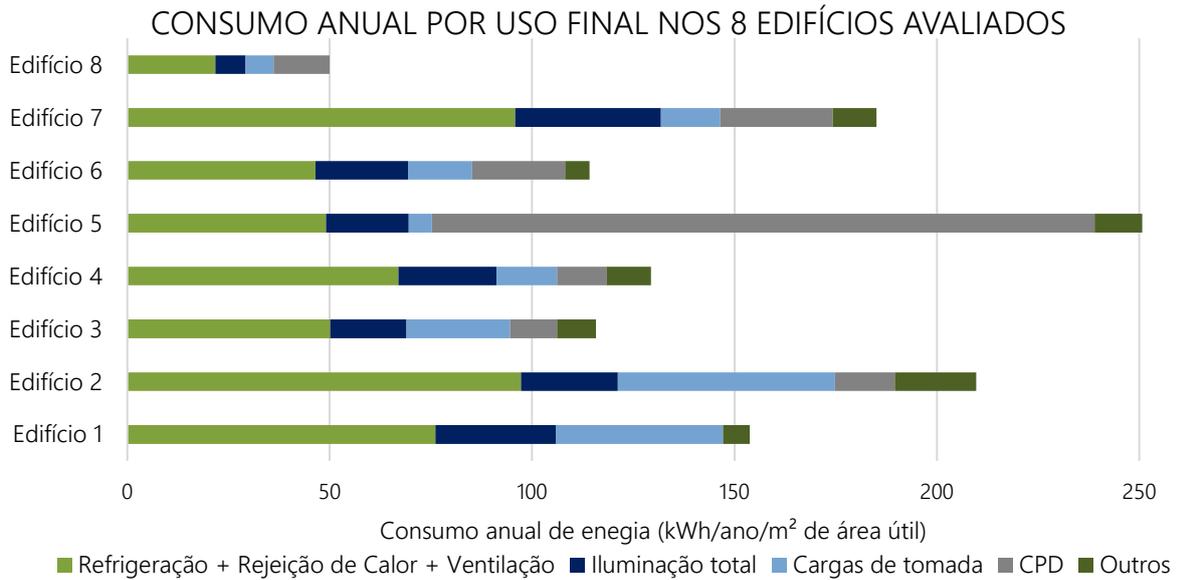


Figura 20. Consumo anual total dos tipos de uso final pela área total dos 8 edifícios.

Sintetizando os consumos anuais sem considerar o consumo do edifício 5 (consumo atípico de CPD) e edifício 1 (consumo de CPD ausente), obtém-se a Figura 20. Verifica-se que nesses edifícios o sistema de climatização corresponde a 47% do consumo total, seguido pela iluminação total, com 17%, e cargas de tomada, com 16%.

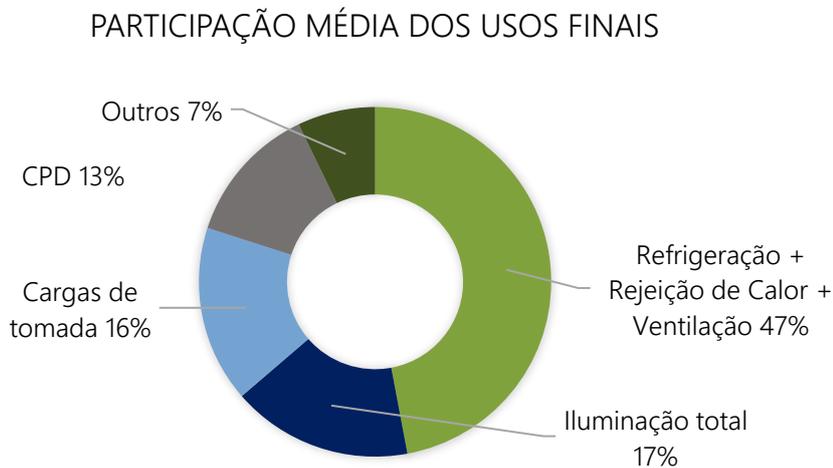


Figura 21. Participação dos usos finais.

## 2.4.4 Densidade de potência de iluminação (DPI) W/m<sup>2</sup>

Comparando o DPI em termos da potência instalada de iluminação das áreas úteis privativas (desconsiderando áreas comuns e de estacionamento), a distribuição do nível de DPI é representada pela Figura 22. Para auxiliar a visualização das diferenças entre a iluminação dos edifícios, identifica-se, também na Figura 22, os tipos de lâmpadas predominantes nas áreas privativas de cada edifício.

A priori, verifica-se na Figura 22 os edifícios 3 e 4 possuem DPI superior ao limite de 9,7 W/m<sup>2</sup>. Nota-se, também, que edifícios com o mesmo tipo de lâmpada possuem DPIs semelhantes, como é o caso dos edifícios 4 e 6 (lâmpada fluorescente de 16W) e edifícios 5 e 8 (lâmpada fluorescente tubular de 14 W). O Edifício 7, apesar da predominância de lâmpadas fluorescentes de 16 W, apresenta DPI inferior à dos edifícios com este mesmo tipo de lâmpada (edifícios 4 e 6) devido à existência, também, de lâmpadas LED de 9,5 W. O DPI mais alto é o encontrado no edifício 3, enquanto o DPI mais baixo é o do edifício 8.

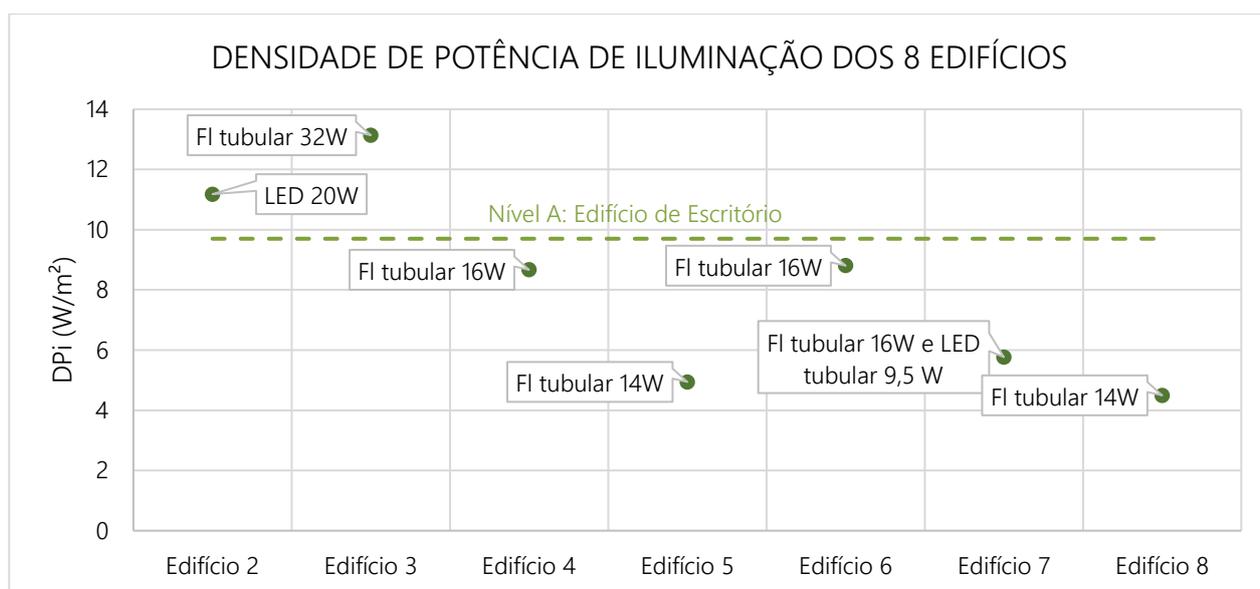


Figura 22. Densidade de potência (DPI) e tipo de lâmpada predominante da área de escritório dos 8 edifícios.

Destaca-se que apesar de valores de DPI abaixo da classe A do PBE Edifica, esta comparação não é suficiente para indicar eficiência da iluminação no ambiente interior de um edifício. Para tal, deve-se verificar, além da potência da iluminação, se o nível de iluminância também está adequado, ou seja, se a quantidade de luz no ambiente é adequada para o bom exercício da atividade que ocorre neste ambiente, e outros fatores como tipo de luminária, tipo de lâmpada, temperatura de cor, etc. Em se tratando de edifícios de escritório, usa-se como referência a norma NBR/ISO 8995 (Iluminação de ambientes de trabalho) que estabelece como referência um nível mínimo de 500 lux (lúmen/m<sup>2</sup>) para atividades típicas de escritório. Da comparação acima, percebe-se que a maioria dos edifícios avaliados

ainda possuem lâmpadas fluorescentes tubulares, e que o edifício 2 possui um DPI elevado, mesmo possuindo lâmpadas LED.

### 2.4.5 Capacidade específica de aquecimento e resfriamento por região e consumo de área condicionada

A comparação da capacidade do sistema de condicionamento dos edifícios localizados em Porto Alegre – RS (Edifícios 1, 2 e 4) é feita na Figura 23. Como esses edifícios contam com sistema de aquecimento de ambiente, optou-se em compará-los na base de  $m^2/kW$ , capacidade térmica instalada por área útil condicionada. Verifica-se que todos os edifícios apresentam relação  $m^2/kW$  aquecimento superior à capacidade de refrigeração, sendo que o edifício 1 é o que apresenta a relação aquecimento/resfriamento mais alta (capacidade resfriamento 71% mais baixa). Vale ressaltar, também, que o edifício 1 é o único que utiliza GLP para aquecimento do ambiente interno. A diferença entre capacidade de aquecimento e resfriamento é mais baixa no edifício 4.

Além da diferença entre capacidades instaladas de aquecimento e resfriamento, pode-se verificar, também, que as capacidades de resfriamento e aquecimento variam de acordo com edifícios. O edifício 1 é aquele que possui maior relação  $m^2/kW$  em ambos sistemas e o edifício 2 é aquele que possui menor relação  $m^2/kW$ .

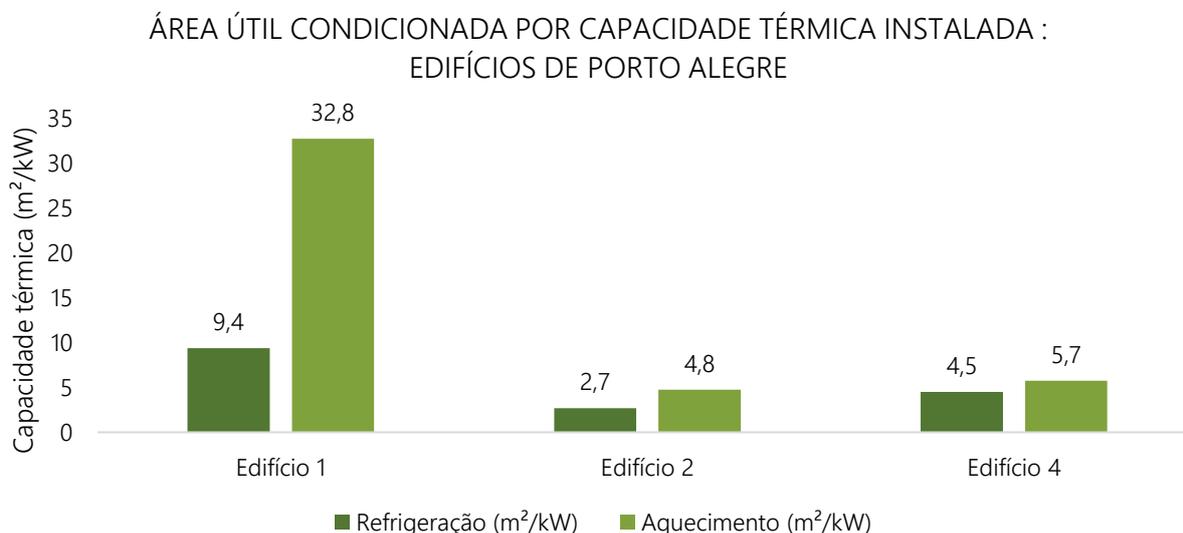


Figura 23. Capacidade térmica dos sistemas de condicionamento ambiental dos edifícios localizados em Porto Alegre - RS.

Comparando as capacidade de refrigeração dos edifícios de Brasília (Edifícios 5, 6 e 7) na base  $m^2/TR$ , obtém-se a Figura 23. Percebe-se que os edifícios 5 e 6 apresentam capacidade de resfriamento por  $m^2$  parecidos, em torno de  $8 m^2/TR$ . O edifício 8 possui a maior relação  $m^2/TR$ , enquanto o edifício 7 possui a menor relação  $m^2/TR$ .



Figura 24. Capacidade de resfriamento dos edifícios localizados em Brasília - DF.

A comparação da capacidade de resfriamento por total de área útil condicionada para todos os edifícios está apresentada na Figura 24. Observa-se que, de todos os edifícios, o edifício 8 é aquele que apresenta maior capacidade de resfriamento por área. O edifício 4, único localizado em São Paulo, se apresenta como o segundo menor em termos da relação m²/TR. Verifica-se que os edifícios 1,3,5 e 6, apesar de estarem localizados em regiões diferentes, apresentam relação m²/TR entre 33 e 29.

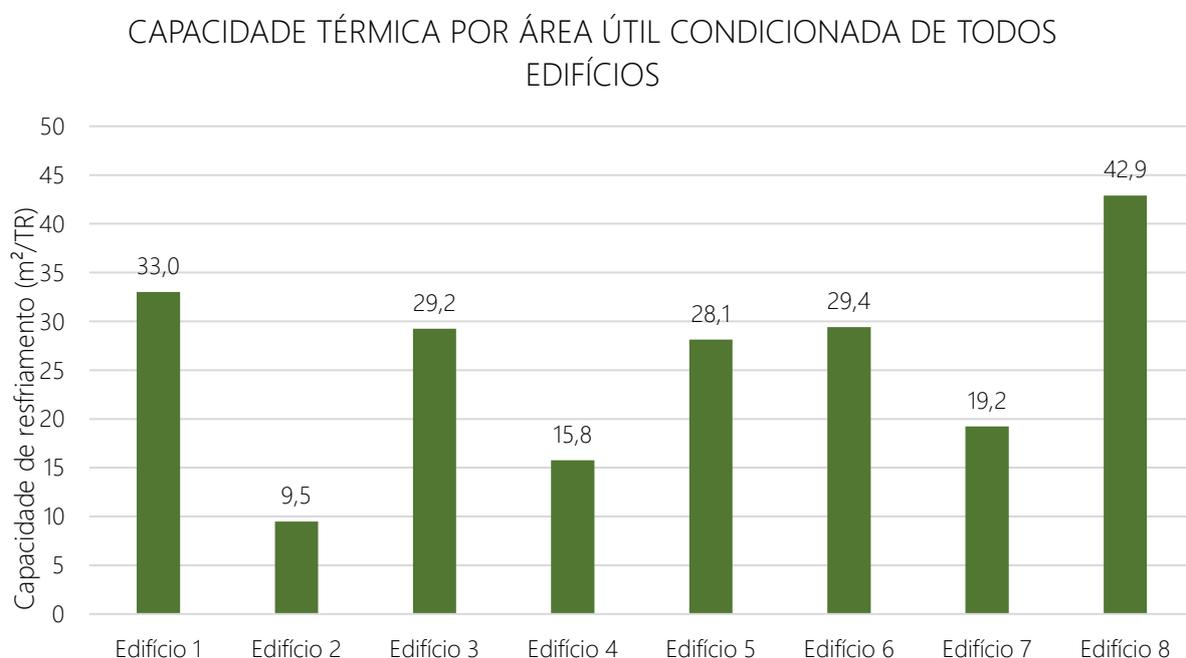


Figura 25. Comparação da capacidade de resfriamento por área útil condicionada em todos os edifícios avaliados.

De modo a colocar em evidência o impacto climático no consumo de energia do sistema de condicionamento, faz-se o cruzamento do consumo anual dos sistemas de ar condicionado específico (kWh/ano por m<sup>2</sup> de área condicionada) com os graus hora de resfriamento anual da cidade onde o edifício está localizado. O resultado deste cruzamento está apresentado na Figura 25.

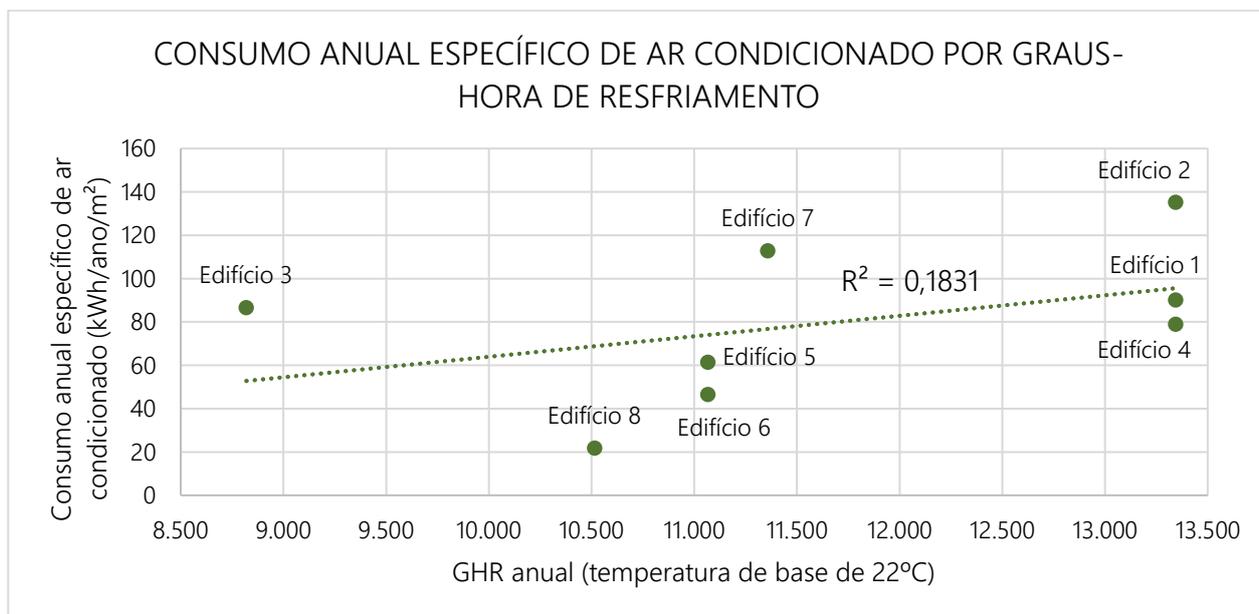


Figura 26. Relação consumo anual específico de ar condicionado com Graus-hora de resfriamento anual com temperatura de base de 22°C.

Percebe-se que o GHR mais baixo corresponde à cidade de São Paulo e o GHR mais alto à cidade de Porto Alegre. Observa-se que não há uma tendência clara de aumento do consumo de ar condicionado com o aumento do GHR anual, como esperado. Assim, tem-se o edifício 8 que possui consumo específico baixo apesar de esta localizado em Brasília (GHR anual intermediário). O edifício 2 é aquele que possui o maior consumo específico anual de ar condicionado e GHR mais alto, correspondente à cidade de Porto Alegre. Os pontos de dispersão são pouco representados por uma linha reta, o que pode ser evidenciado pelo baixo R<sup>2</sup>.

### 2.4.6 Consumo vs temperatura

O clima e as condições externas impactam no consumo energético de um edifício de diversas formas. A temperatura do ar, umidade, radiação solar, velocidade do vento e até a cobertura de nuvens determinam necessidades de consumos para condicionamento do ar e iluminação.

O indicador mais utilizado para avaliações climáticas simplificadas é o Grau-Hora de Resfriamento, GHR (em climas frios, graus-hora de aquecimento são adotados). A metodologia de cálculo dos graus-hora é descrita pela ASHRAE (ASHRAE Handbook – Fundamentals). A escolha da temperatura base para cálculo das GHRs deve ser feita considerando temperaturas em que um edifício poderia funcionar sem

resfriamento artificial, a chamada "temperatura de balanço". Como não é prático calcular essa temperatura para todas as possíveis configurações de edifício, uma temperatura base de 22°C é adotada, com base em estudos anteriores (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014). Quando o termo GHR é utilizado sem ser qualificado ou definido, no resto deste relatório, o termo se refere aos GHRs calculados com temperatura bulbo seco e temperatura de base de 22°C.

A avaliação mensal com base em dados medidos de clima é a melhor forma de detalhar a relação entre consumo e clima e construir uma metodologia de correção climática. Os dois gráficos a seguir representam essa relação. Neles, foi utilizado o consumo específico em kWh por mês por m<sup>2</sup> de área condicionada ocupada.

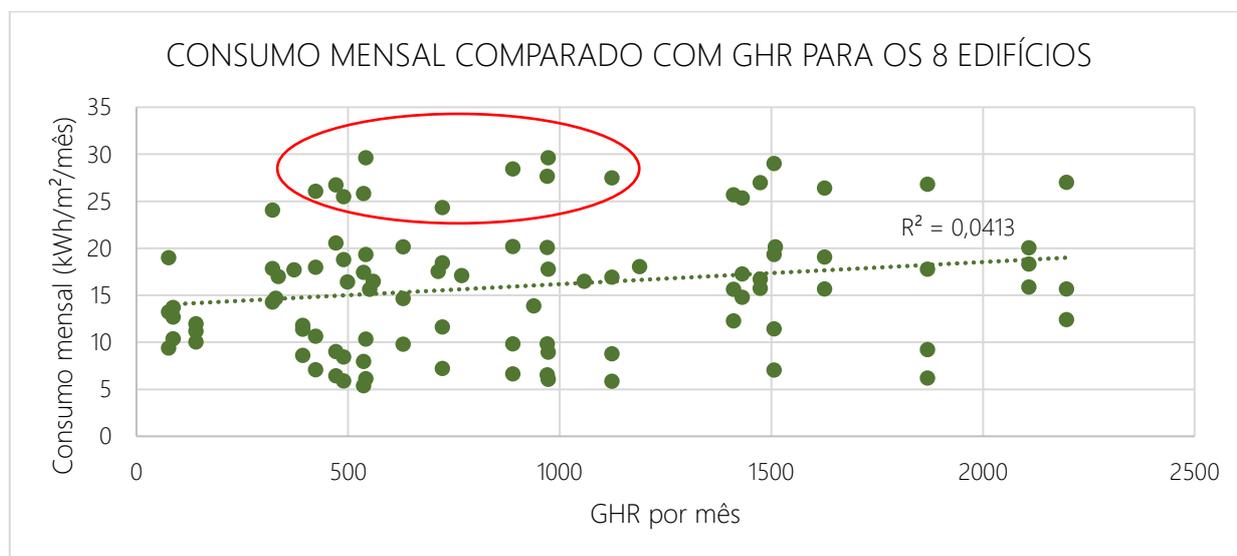


Figura 27. Consumo mensal específico comparado com graus-hora de resfriamento dos 8 edifícios. Em destaque, pontos que representam o Edifício 5

Fica clara a existência de uma leve relação entre consumo energético e o GHR. As variações, em geral pontos muito acima da linha de tendência, pontos circulosados, indicam edifícios com cargas de CPD elevadas, operação ineficiente ou uso diferente dos demais edifícios. Um edifício 5 apresenta uma carga alta de CPD, 67% do consumo de energia. A Figura 28. Consumo mensal específico comparado com graus-hora de resfriamento de 7 edifícios, excluindo o edifício 5. apresenta o mesmo gráfico, porém excluindo-se o prédio 5.

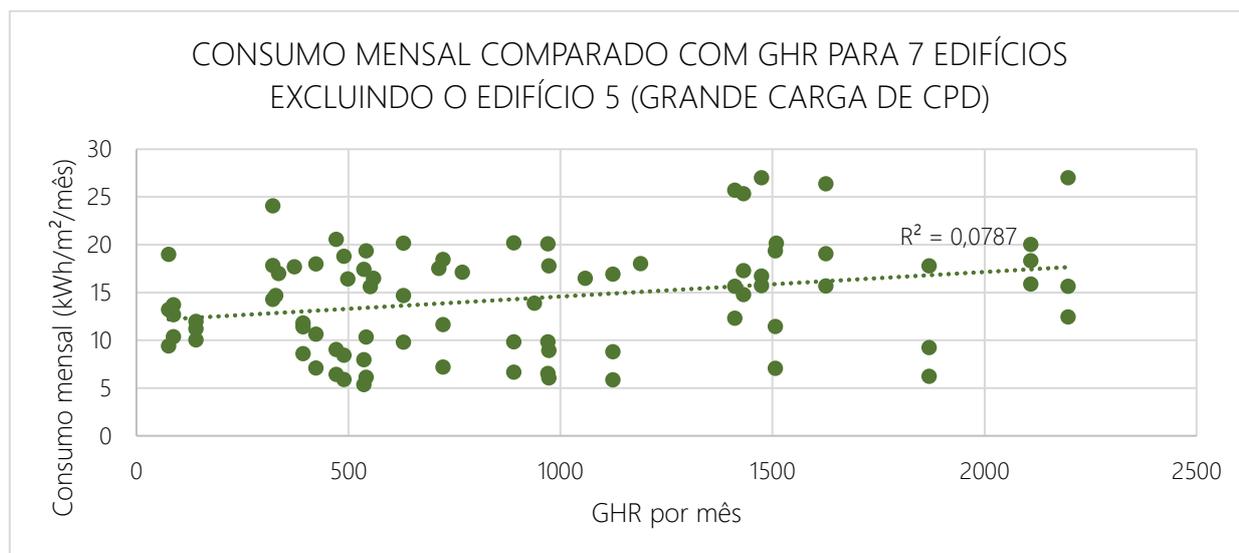


Figura 28. Consumo mensal específico comparado com graus-hora de resfriamento de 7 edifícios, excluindo o edifício 5.

Nota-se que ao excluir o edifício 5, a relação entre consumo e GHR fica mais nítida, representada por um  $R^2$  mais elevado e uma linha de tendência com inclinação mais acentuada.

Para cada edifício, foi investigada a relação entre consumo mensal e temperatura externa de bulbo seco média do mesmo mês, calculada pelos dados disponibilizados pelo INMET. Como o maior consumidor de eletricidade geralmente é o ar condicionado, uma sazonalidade é esperada no consumo de energia. Quanto maior a correlação entre consumo e temperatura, melhor é o sistema de controle de ar condicionado do edifício, significando que ele se adapta bem às variações do clima.

Além de dar uma visão sobre o nível de controle do sistema ar condicionado, a representação gráfica destas duas variáveis permite a identificação de anomalias, por exemplo, se houver consumo mais alto em um mês não particularmente quente, ou quando a ocupação estava baixa.

Os gráficos da Figura 29 mostram a relação entre o consumo mensal e a temperatura média, evidenciando que geralmente há uma sazonalidade marcada. Nos edifícios 1, 2, 3, 4 e 8 é possível identificar uma correlação mais forte entre a temperatura e o clima do que os demais edifícios.

As anomalias (consumo alto com temperatura baixa e vice-versa), indicadas pelas setas vermelhas, nos edifícios 1, 2, 3 e 4 foram importantes para entender o perfil de consumo do edifício. Em todos esses casos, as anomalias foram motivos de investigação individual durante os diagnósticos para compreender o comportamento.



Figura 29. Gráficos comparando consumo mensal e temperatura média mensal para os 8 edifícios

De maneira geral, os edifícios situados em Porto Alegre apresentam uma correlação mais evidente entre o consumo e a temperatura, acredita-se que tal fato ocorre, devido à amplitude térmica da região, que quando comparada a São Paulo e Brasília, possui uma maior variação da temperatura durante o ano.

Um fato interessante, apontado pela Figura 15, é que os edifícios que utilizam sistemas individuais de condicionamento de ar, *split e multisplit* por exemplo, apresentam uma maior relação de conforto térmico geral dos usuários. Isso provavelmente se explica pelo fato de que os sistemas individuais permitem maior controle pessoal do usuário sobre o ajuste de temperatura do equipamento. E a Figura 29 mostra que esses mesmos edifícios apresentam uma forte relação entre o consumo de energia e a temperatura externa, que é o caso dos edifícios 2, 3 e o 8.

### 2.4.7 Avaliação de eficiência dos CPDs

Nos edifícios que era possível coletar dados dos servidores de CPD, dos *nobreaks* e do sistema dedicado de ar condicionado servindo o CPD, foi possível avaliar a eficiência do CPD. A eficiência de um CPD é avaliada pelo cálculo do PUE (do inglês, *Power Usage Effectiveness*), calculado pela seguinte fórmula:

$$PUE = \frac{\text{Potência (ou consumo) total do CPD (Servidores + UPs + ar condicionado)}}{\text{Potência (ou consumo) dos servidores}}$$

Embora a medição ideal do PUE seja via medição de consumo desses sistemas por pelo menos 1 ano, no caso deste projeto foi utilizada medição pontual de potência e, então, feita uma estimativa do consumo anual. Além disso, foi desconsiderado o consumo da iluminação do CPD, que também deveria constar no PUE idealmente, devido à dificuldade de isolamento dessa carga para medição e ao fato de que representa um consumo desprezível frente aos demais.

O PUE mais eficiente é o mais perto de 1. A Tabela 5 classifica a eficiência de um CPD em função do PUE. O PUE é altamente afetado pela eficiência do ar condicionado, que depende de fatores como distribuição de ar, dimensionamento do ar condicionado, definição do *setpoint* da sala, *layout* dos racks de servidores, isolamento da sala, condição das máquinas etc.

PUE	DCiE	Nível de eficiência
3.0	33%	Muito ineficiente
2.5	40%	Ineficiente
2.0	50%	Média
1.5	67%	Eficiente

1.2	83%	Muito eficiente
-----	-----	-----------------

Tabela 5. Classificação de faixas de PUE. O índice DCiE representa o grau de eficiência energética da infraestrutura do CPD.  
Fonte: Adaptado de 42U ([www.42U.com](http://www.42U.com))

Em cinco dos edifícios, foi possível separar as cargas definidas na fórmula acima e estimar o consumo dos servidores, ar condicionado e os *nobreaks*. Os resultados estão descritos na Tabela 6. O edifício 1 não possui CPD, e nos edifícios 3 e 8 não foi possível separar as cargas para o cálculo de eficiência do CPD.

	Edifício 2	Edifício 4	Edifício 5	Edifício 6	Edifício 7
Consumo Servidores (kWh/ano)	11.738	18.456	1.436.754	157.360	178.440
Consumo UPS (kWh/ano)	596	778	49.886	7.567	7.329
Consumo AVAC (kWh/ano)	18.064	20.432	1.057.543	220.977	188.020
<b>PUE</b>	<b>2,6</b>	<b>2,1</b>	<b>1,8</b>	<b>2,5</b>	<b>2,1</b>
<b>Eficiência</b>	<b>Ineficiente</b>	<b>Média</b>	<b>Eficiente</b>	<b>Ineficiente</b>	<b>Média</b>

Tabela 6. Cálculos do PUE para 5 Edifícios

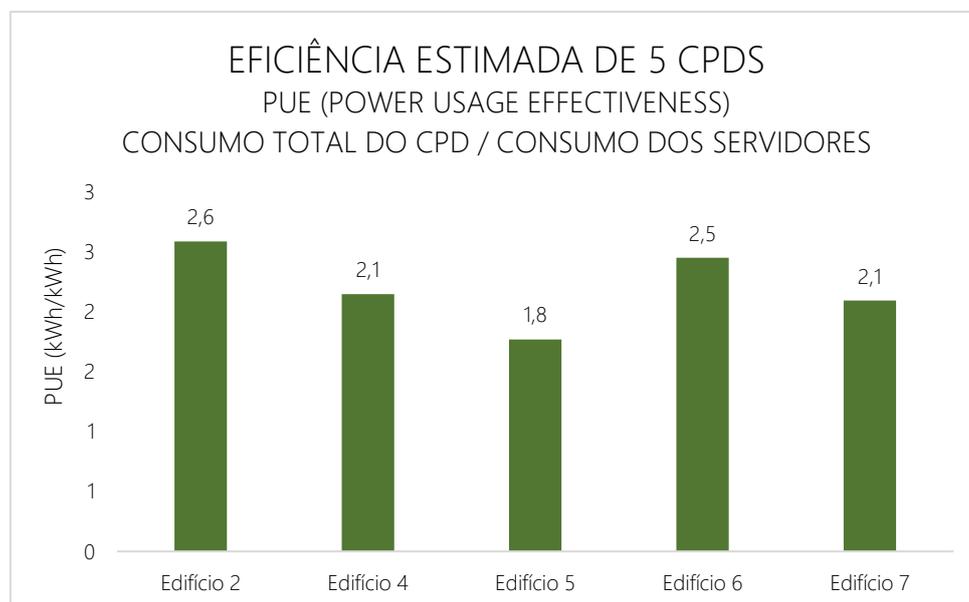
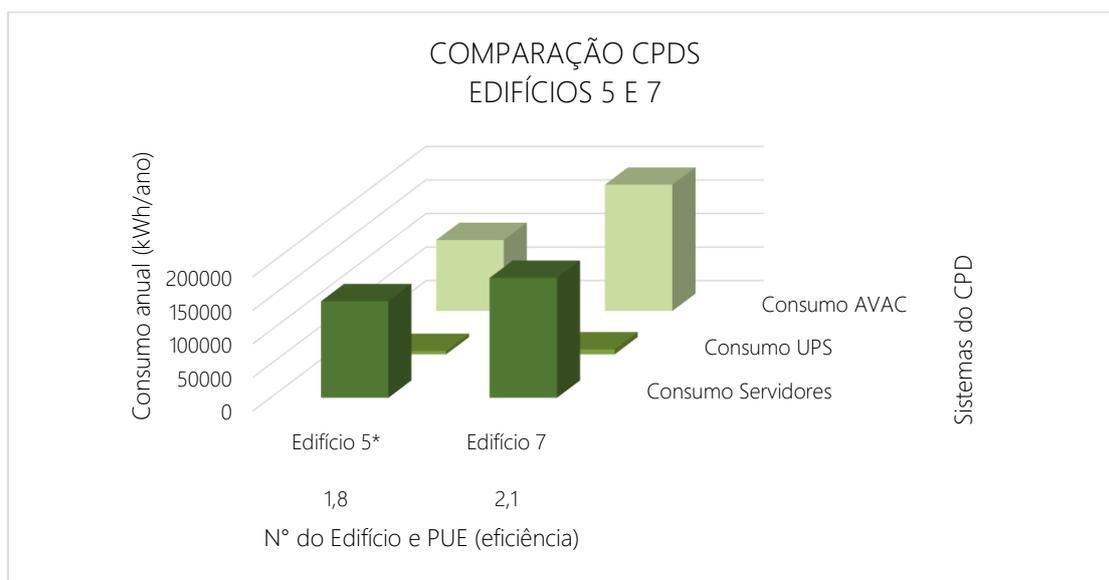


Figura 30. Gráfico do PUE dos 5 CPDs

Os edifícios 5 e 7 podem ser comparados diretamente, visto que os CPDs são construídos no modelo Sala Cofre com equipamentos de servidores e climatização semelhantes. No entanto, o Edifício 5 possui excelente distribuição de ar com isolamento entre corredores quentes e frios, ao passo que o Edifício 7 não possui essa divisão. A Figura 31 demonstra claramente a diferença de eficiência entre esses dois CPDs, descrevendo o consumo dos servidores, *nobreaks* e ar condicionado de cada um, para comparação.



\* Consumo do Edifício 5 está dividido por 10 para facilitar a comparação entre os CPDs dos edifícios.

Figura 31. *Breakdown* dos consumos de dois CPDs.

### 2.4.8 AVAC central vs individual

A fim de entender se existe uma relação entre o tipo de sistema de ar condicionado e o consumo do edifício, os sistemas são divididos em sistemas centrais, geralmente centrais a água gelada (CAG) e sistemas localizados, geralmente sistemas de expansão direta (DX), como *Splits*. Um edifício da amostra tem sistema VRF, que agrupa características de ambos os tipos de ar condicionado, por serem sistemas centrais de expansão direta. Estes sistemas são considerados mais parecidos com sistemas centrais, então são considerados conjuntamente. Todos os sistemas centrais e o VRF possuem equipamentos *splits* instalados em locais estratégicos para complementar a climatização dos edifícios.

A amostra de edifícios nesta análise contém os seguintes tipos e quantidades de sistema:

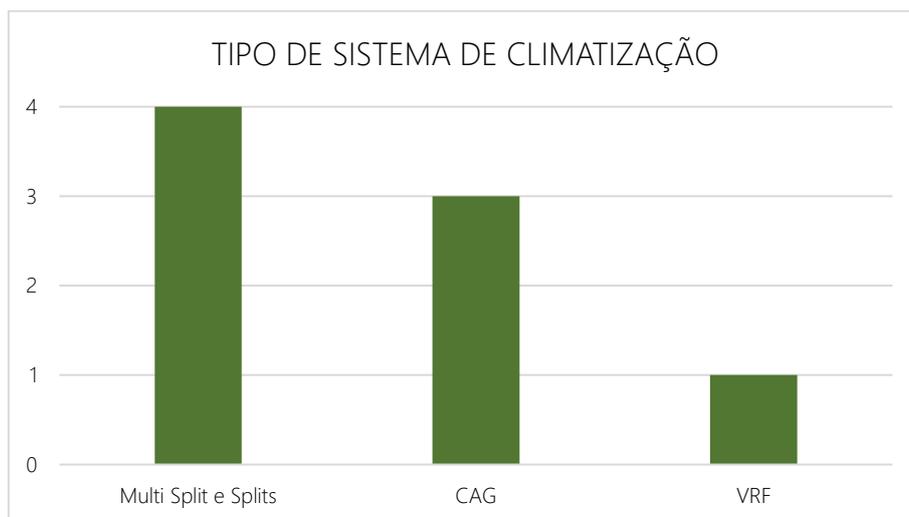


Figura 32. Quantidade de edifício com cada tipo de sistema principal de AVAC

A Figura 33 mostra o consumo anual estimado para refrigeração em função da área condicionada e do sistema de climatização de cada edifício.



Figura 33. Consumo estimado dos sistemas de climatização em função da área condicionada e tipo de sistema de climatização adotada pelo edifício.

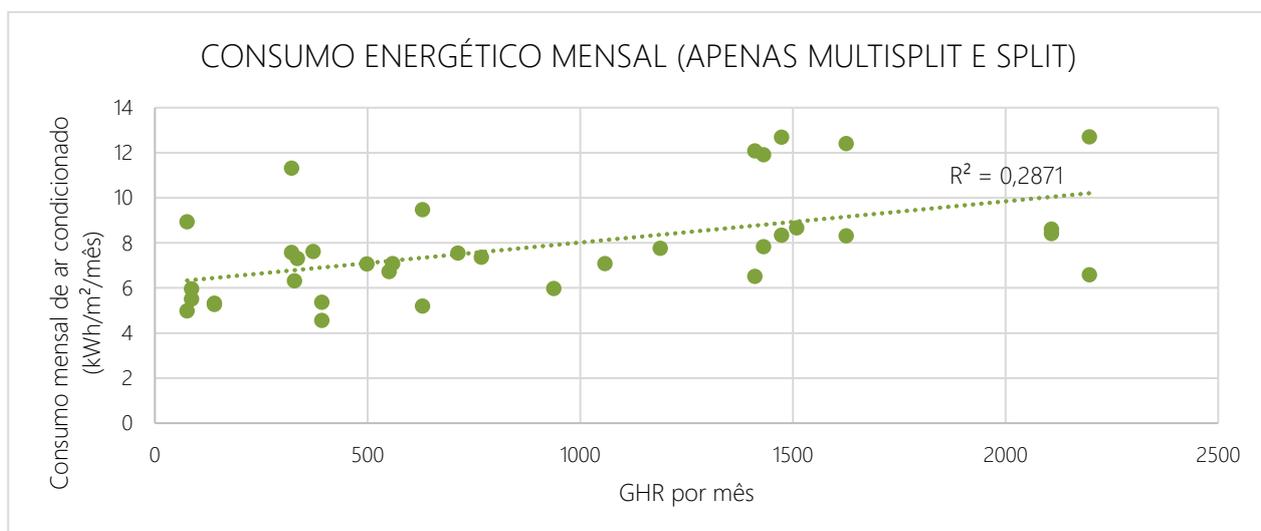
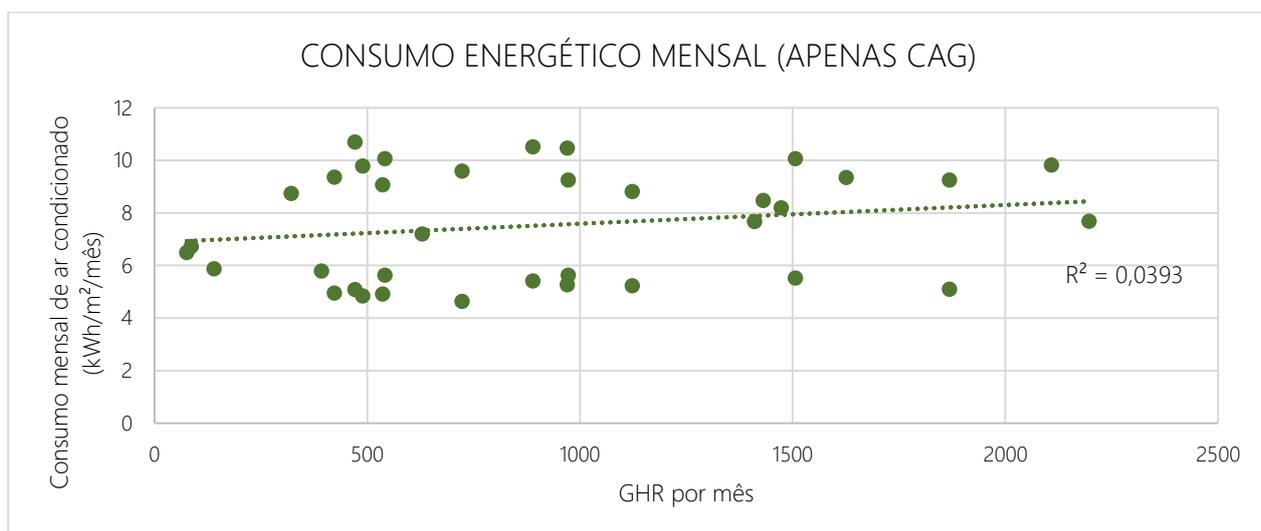
O edifício que apresentou o menor consumo específico para condicionamento de ar foi o edifício 8, que utiliza VRF como sistema de climatização. Nesse edifício em particular há um perfil de utilização diferente dos demais, a maioria dos usuários, de maneira geral, permanecem menos de oito horas por dia no edifício.

Entre os demais tipos de climatização, splits e CAG, não há uma relação de eficiência clara, por exemplo, o Edifício 6, que apresenta a segundo menor consumo específico, é climatizado por *multisplits* e *split*,

mesmo tipo que o Edifício 2, que apresenta o maior consumo. O fato do Edifício 2 ter um sistema de expansão direta antigo complementar aos *multisplit* e *splits*.

A diferença entre o consumo específico dos Edifícios 1, 5 e 7, com possui sistema central de água gelada, pode ser explicada pelo fato do Edifício 1, na época da auditoria, não era desligado durante à noite, operando por mais tempo do que o necessário, e do Edifício 7 não possuir um sistema eficiente de retorno, o que pode gerar um maior consumo de energia e desconforto aos usuários.

A fim de verificar qual tipo de climatização apresenta a melhor relação entre consumo específico e temperatura, construiu-se gráficos de dispersão separando os edifícios por sistema de condicionamento de ar. A Figura 34 apresenta os gráficos de dispersão e o  $R^2$ , que mostra o grau relação entre os valores, de cada função, quanto maior o  $R^2$  maior é a relação entre as variáveis. O sistema que apresentou o maior  $R^2$  foi o *multisplit* e *splits*, seguido por VRF e por último, a menor relação estabelecida é entre o consumo da CAG e o GHR.



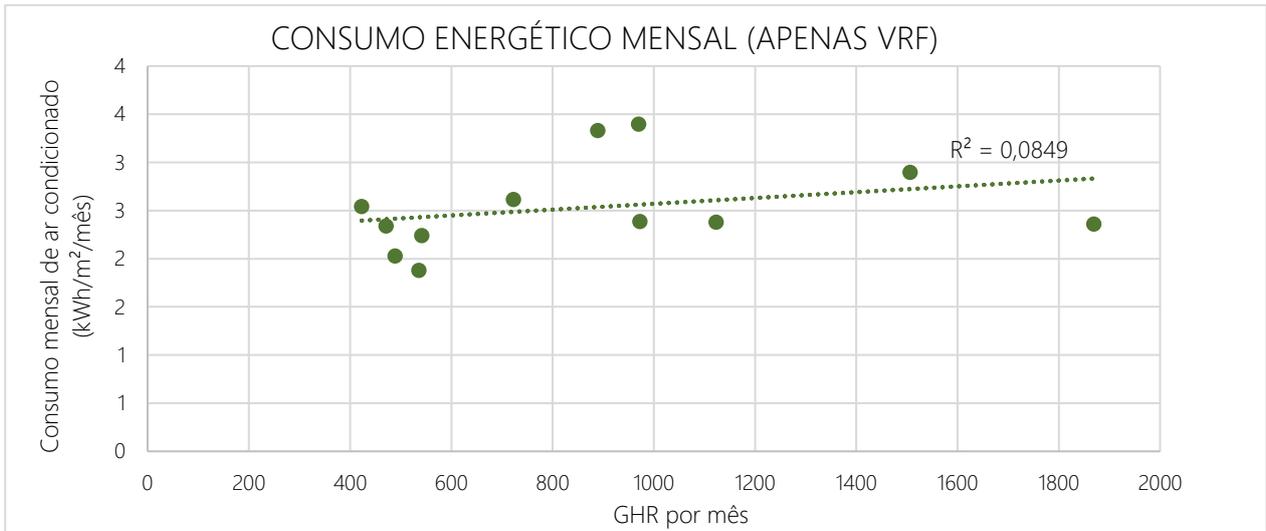


Figura 34. Relação entre o consumo específico de climatização por sistema de condicionamento de ar

### 2.4.9 Potencial de economias (R\$ e kWh)

Os Edifícios 1 e 6 apresentaram os maiores potenciais de economia de energia, e o sistema de climatização, nos dois casos, foi o principal responsável pelo potencial de ganho energético, sendo seguido por iluminação no edifício 6 e gestão energética no edifício 1. Como mostra a Figura 35.

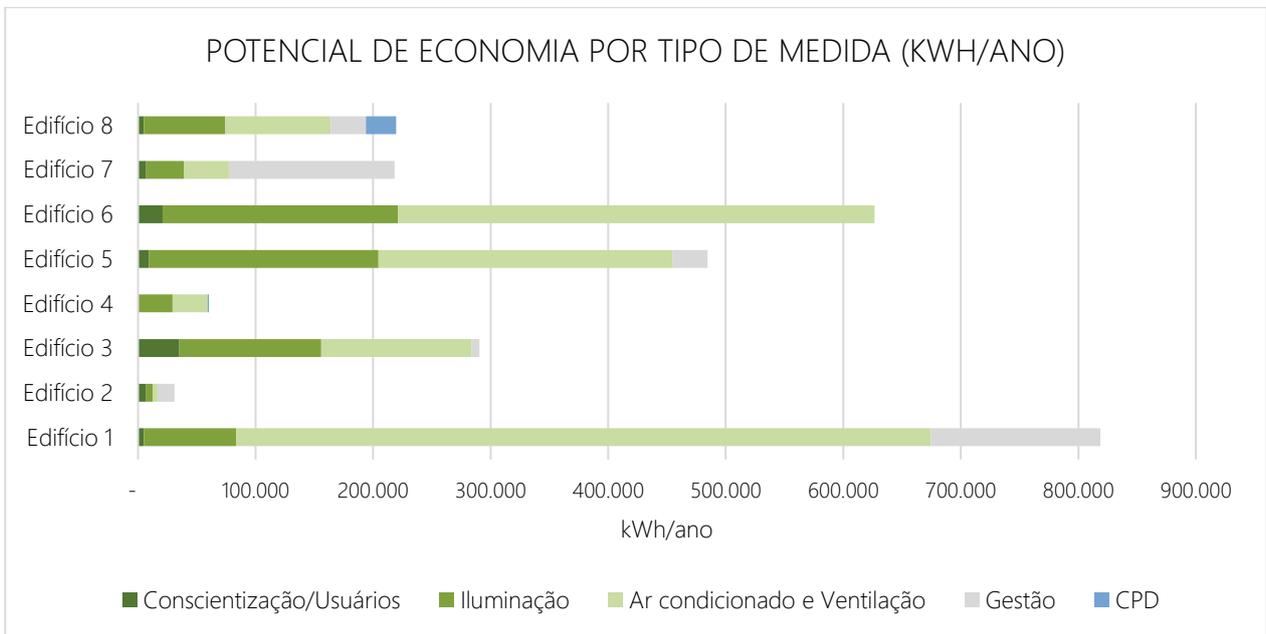


Figura 35. Potencial de economia elétrica de cada edifício por tipo de medida.

Já os Edifícios 5 e 3, representam, respectivamente, o terceiro o quarto edifício com o maior potencial de economia, com destaque, novamente, para o sistema de ar condicionado e ventilação que

apresentaram o maior potencial de redução no consumo de energia, seguido, em ambos os casos, pelo sistema de iluminação.

Além de representar o maior número de medidas, como mostra a Figura 2 o sistema de ar condicionado e ventilação possui o maior potencial de economia de energia para os edifícios. A Figura 35 mostra o potencial de economia energética de cada tipo de medida. Além dos sistemas de climatização, o sistema de iluminação e a gestão energética tiveram uma participação significativa no potencial geral de economia.

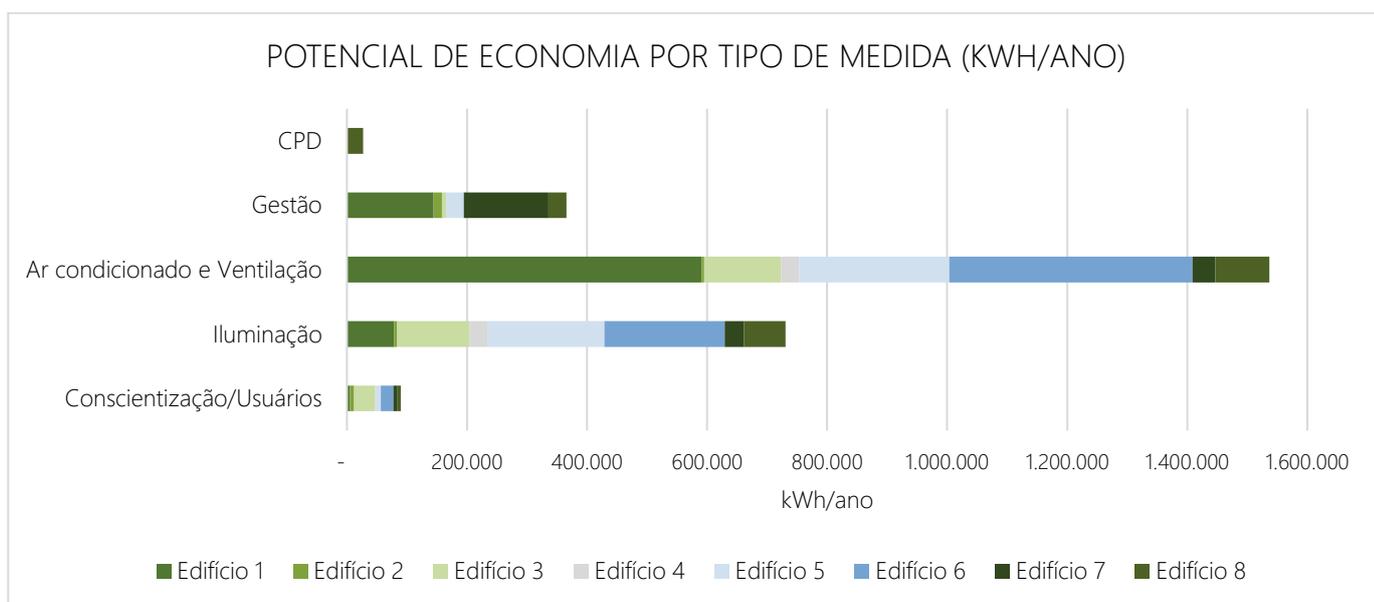


Figura 36. Potencial de economia elétrica por tipo de medida.

O Edifício que apresenta o maior potencial de economia financeira é o 5, que pode ser explicado pelas medidas de gestão que representam mais de 60% desse potencial. Vale ressaltar que muitas das medidas de gestão trazem economias somente financeiras e não energéticas, por isso esse edifício apresenta uma posição de notoriedade na Tabela 7, enquanto que, na Figura 35 é apenas o terceiro edifício com o maior potencial de economia energética.

Tabela 7. Potencial de economia financeira de cada edifício por tipo de medida.

	Conscientização dos usuários (R\$)	Iluminação (R\$)	Ar condicionado e Ventilação (R\$)	Gestão Energética (R\$)	Geração Distribuída (R\$)	CPD (R\$)
Edifício 1	2.466	38.243	448.243	70.167	39.499	-
Edifício 2	4.834	5.433	3.560	26.053	31.183	-
Edifício 3	21.067	72.819	77.219	11.698	54.204	-
Edifício 4	-	16.830	17.173	12.143	56.897	764
Edifício 5	6.179	139.663	146.587	664.224	-	-

Edifício 6	10.103	96.878	195.953	81.940	118.763	-
Edifício 7	5.165	23.704	28.017	129.592	44.483	-
Edifício 8	3.983	54.549	70.741	63.402	-	20.362
<b>TOTAL</b>	<b>53.797</b>	<b>448.119</b>	<b>987.492</b>	<b>1.059.220</b>	<b>345.029</b>	<b>21.126</b>

Outros Edifícios que se destacaram no potencial de economia financeira foram os edifícios 1 e 6, sendo o primeiro, principalmente pelos sistemas de ar condicionado e ventilação e o segundo distribuído entre os sistemas de ar condicionado e ventilação e pelo potencial de geração distribuída, que não é uma medida de eficiência energética, mas a sua utilização acarreta em ganhos financeiros para o usuário.

De maneira geral, as medidas de ar condicionado e ventilação, iluminação e gestão energética estão presentes e representa um potencial significativo para todos os edifícios, como é mostrado na Figura 37.

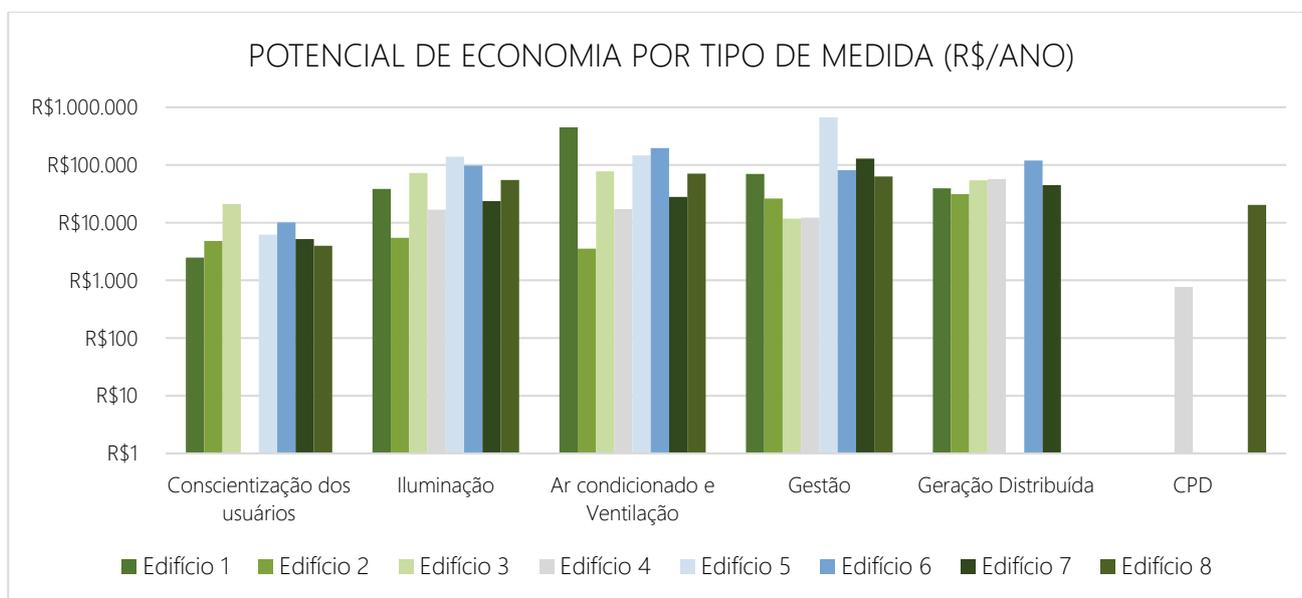


Figura 37. Potencial de economia financeira por tipo de medida.

A geração distribuída também representa potencial de ganhos relevantes para os edifícios, e só não foi recomendada para dois edifícios, edifício 5 e o edifício 8, devido a um deles já possuir esse sistema instalado e ao outro ter realizado um estudo do potencial recentemente, sob a coordenação do gestor, e ter descartado essa medida dentro dos próximos anos.

Conscientização dos usuários aparece com ganhos um pouco menos significativo do que as demais já citadas, mas vale ressaltar que todas as medidas analisadas dessa tipologia são de zero custo, o que as deixam muito atraentes para o curto prazo e as colocam em posição prioritária de implantação.

Medidas de CPD só foram identificadas em dois edifícios e estão, de forma geral, relacionadas ao layout e climatização desses ambientes.

A Tabela 8 correlaciona o custo necessário de implantação das medidas de eficiência energética, gestão e geração distribuída com o retorno esperado. Pensando somente em medidas de eficiência energética (MEE's), de maneira geral, 53% das economias estimadas estão nas MEE's de médio e alto custo, 26% nas MEE's de zero custo e 21% em MEE's de baixo custo.

Tabela 8. Relação entre o custo de implantação e a economia estimada, por edifício.

	<b>Economias anuais de MEE's Zero Custo (R\$)</b>	<b>Economias anuais de MEE's Baixo Custo (R\$)</b>	<b>Economias anuais de MEE's Médio e Alto Custo (R\$)</b>
<b>Edifício 1</b>	160.000	178.000	222.483
<b>Edifício 2</b>	14.000	20.000	5.000
<b>Edifício 3</b>	74.000	63.000	46.000
<b>Edifício 4</b>	17.000	700	18.000
<b>Edifício 5</b>	90.000	54.000	184.000
<b>Edifício 6</b>	13.000	11.000	279.000
<b>Edifício 7</b>	28.000	7.000	150.000
<b>Edifício 8</b>	66.000	39.000	51.000
<b>TOTAL</b>	<b>462.000</b>	<b>372.700</b>	<b>955.483</b>

As outras medidas são compostas por medidas de gestão energética, como a migração para o mercado livre, mudança tarifária e gestão eficiente da demanda contratada e por geração distribuída estão mostradas na Tabela 9. Economia estimada de outras medidas. a seguir.

Tabela 9. Economia estimada de outras medidas.

	<b>Economias anuais de outras medidas (R\$)</b>
<b>Edifício 1</b>	40.000
<b>Edifício 2</b>	31.000
<b>Edifício 3</b>	54.000
<b>Edifício 4</b>	57.000
<b>Edifício 5</b>	627.700
<b>Edifício 6</b>	200.000
<b>Edifício 7</b>	44.000
<b>Edifício 8</b>	55.000
<b>TOTAL</b>	<b>1.108.700</b>

Tabela 10. Potencial de economia total (kWh/ano) por edifício.

<b>POTENCIAL TOTAL DE ECONOMIA EM KWH/ANO</b>	
EDIFÍCIO 2	30.913
EDIFÍCIO 4	60.180
EDIFÍCIO 7	218.206

EDIFÍCIO 8	219.637
EDIFÍCIO 3	290.534
EDIFÍCIO 5	484.665
EDIFÍCIO 6	626.686
EDIFÍCIO 1	818.695
<b>TOTAL</b>	<b>2.749.515 kWh/ano*</b>

\*Essa soma exclui apenas as medidas de geração distribuída.

Por fim, destaca-se que o total de potencial de economia anual nos 8 edifícios avaliados soma **2,7 GWh** sendo que o edifício com o maior potencial de economia foi o Edifício 1, seguido pelo Edifício 6 e os edifícios 2 e 4 apresentaram menor potencial de eficiência.

É importante destacar que o potencial de economia real pode ser menor do que o apresentado na Tabela 10 devido ao fator de correlação e sobreposição de algumas medidas. Nessa tabela, não foram consideradas as medidas relativas ao potencial de geração fotovoltaica por não se tratar de eficiência energética.

#### 2.4.10 Resultados e ganhos intangíveis

É importante ressaltar que existem ganhos intangíveis do projeto, ou seja, não energéticos, nas medidas identificadas para cada edifício. Tais ganhos são provenientes de medidas de conforto térmico, acústico, ergonômico, melhoria de saúde dos usuários e medidas de segurança elétrica.

Algumas medidas foram prontamente acatadas e implementadas logo após a apresentação dos resultados para as empresas de facilities e medidas que já estavam no planejamento foram reforçadas ou reavaliadas em termos de prioridade. Sabe-se também que o projeto trouxe um impacto positivo na imagem nos edifícios avaliados, por ser um projeto oficial da Eletrobras, e já que o edifício ganhou destaque e o projeto foi divulgado internamente em e-mails e cartazes informativos nos edifícios, principalmente para a parte da aplicação da pesquisa de conforto.

A maioria dos edifícios nunca havia realizado uma pesquisa de conforto, e ao contrário do que os gestores esperavam, os usuários das edificações foram muito participativos durante a visita técnica de diagnóstico energético e aplicação de conforto. Sendo que eles mesmos se aproximavam para fazer perguntas e serem ouvidos, portanto o projeto foi um importante meio de comunicação entre os usuários e gestores.

Finalmente, conforme demonstram os resultados, percebe-se que existe uma correlação entre a percepção de produtividade das pessoas com o nível de conforto encontrado nas estações de trabalho. Portanto a questão de conforto é um fator de relevância para a realização das atividades de trabalho e rendimento dos usuários, que implicam em maiores lucros para as empresas ou maior eficiência de processos.

## 2.5 DESAFIOS E APRENDIZADOS

Em termos de prazos gerais, o cronograma inicial foi afetado por causa dos feriados e férias de final de ano, que não estavam considerados no calendário do edital, mas posteriormente conseguiu-se um bom ritmo de trabalho. Considera-se que as etapas do projeto realizadas até o momento foram concluídas com sucesso, sendo realizados 8 diagnósticos energéticos e 8 pesquisas de conforto. Os diagnósticos energéticos evidenciaram um potencial de economia muito significativo, com medidas de zero, baixo e médio/alto custo e a pesquisa de conforto mostrou informações complementares relevantes para refletir e trazer melhorias para os usuários. Juntos, os resultados de energia e conforto se complementaram e foram importantes para conseguir entender a edificação como um todo.

Em relação à aplicação da pesquisa de conforto, de forma geral, a taxa de resposta foi bem positiva, acima de 30%, sendo que a pesquisa aplicada em papel obteve uma taxa de respostas maior, de até 90%. A pesquisa aplicada online, conseguiu ter um alcance maior em número de pessoas, mas as pesquisas em papel foram mais efetivas, pois tiveram o contato direto com o usuário.

Na parte de aplicação da pesquisa, foram encontradas algumas dificuldades como a quantidade de perguntas do formulário (mais de 70 perguntas). Embora tenha sido uma taxa bem baixa, algumas pessoas não responderam todas as perguntas, ou seja, talvez para a aplicação da pesquisa trimestral seja interessante deixar o formulário mais sucinto apenas com as questões principais (conforto térmico, acústico, iluminação e saúde). Também houve uma certa resistência de aplicação da pesquisa por parte dos gestores em edifícios nos quais já havia muitas reclamações dos usuários. O receio foi relacionado principalmente, com problemas de ar condicionado e como os responsáveis conseguiriam solucioná-los após a aplicação da pesquisa, por conta da cobrança e expectativa gerada pelos usuários.

Como sugestões de melhorias na parte técnica em conforto, além do encurtamento da pesquisa, seria válido alterar a pergunta de identificação de andar do usuário, que hoje está em faixas de andar, para identificar cada andar separadamente. Dessa forma, é possível rastrear as informações em edifícios com 5 andares ou menos. Da parte técnica dos diagnósticos, a metodologia utilizada e análises foram realizadas com fluidez, sendo a parte mais complicada a obtenção de dados remotos da edificação e a etapa mais longa, porém esperada, a análise de dados e elaboração do relatório.

Para os edifícios públicos, principalmente em Brasília, o início dos trabalhos demorou mais tempo do que o esperado por motivos burocráticos, já que houve a necessidade de formalização do projeto para o órgão público que ocupava o imóvel, sendo requerida uma carta formal em papel timbrado, assinada pela Eletrobras e endereçada ao diretor do local.

Por fim, fatores não previstos, porém, comuns para empresas de *facilities* foi o cancelamento do contrato com um dos clientes, no edifício 6, o que ocasionou a alteração de escopo de trabalho para outro edifício de assessoria para a implementação das medidas. Houve ainda mudanças de gestores e contatos nos edifícios, tanto por parte do cliente (órgão público), com a mudança de governo, quanto pela empresa de *facilities*, com a saída de colaboradores e mudanças de cargos internos.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O gráfico da Figura 38 acima mostra os resultados gerais de energia e conforto dos edifícios avaliados, com exceção do edifício 1 que não possui índice de energia e, portanto, não aparece na comparação acima. Em geral foi constatado que os edifícios possuem um bom nível de satisfação dos usuários, mas com muitos pontos para melhorar, e grande potencial de eficiência energética.

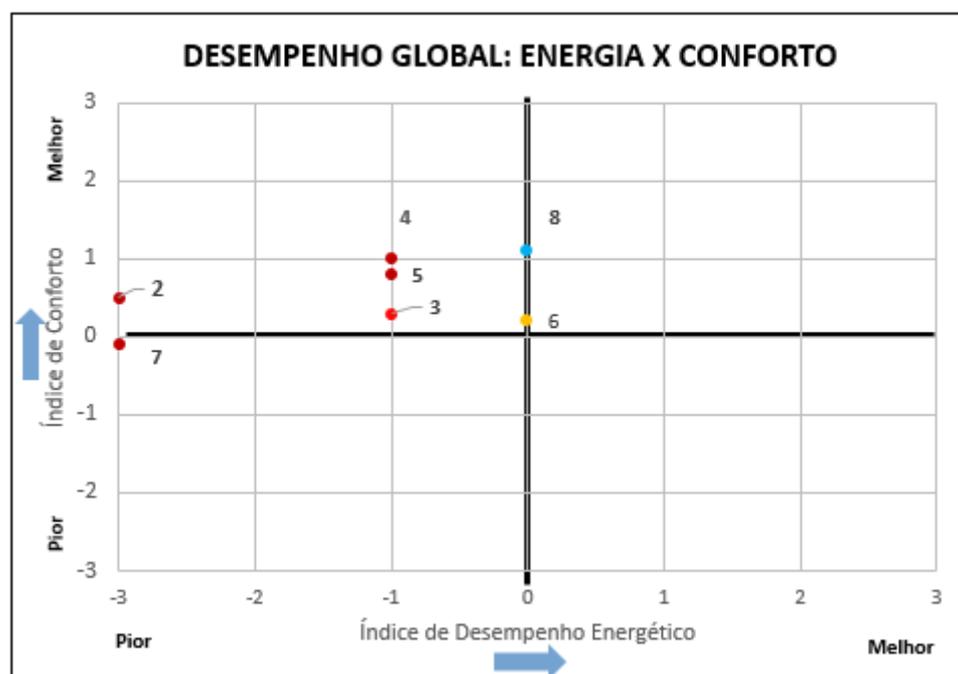


Figura 38. Resultado de energia e conforto dos 8 edifícios.

Da avaliação de conforto, percebe-se que todos os edifícios (com exceção do 7) tiveram um desempenho positivo, mas ainda possuem um potencial de melhoria significativo. Os edifícios com os melhores indicadores de conforto foram o 4 e o 8. O edifício 7 possui grandes problemas de ar condicionado, que ficou evidente nos resultados. É esperado que para melhoria dos índices de conforto, os edifícios consumam mais energia, como é o caso do aumento da renovação de ar, ou aumento da capacidade instalada de ar condicionado ou aquecimento, mas isso pode ser compensado com trabalhos simultâneos em eficiência energética.

Da parte de desempenho energético, todos foram classificados como “ineficientes”, ou seja, possuem potencial de eficiência energética. Os edifícios 8 e 6 estão com desempenho muito próximo ao nível “típico” esperado pelo resultado do *benchmarking*, mas precisam ser mais eficientes para chegar ao nível “boas práticas”. E os edifícios 2 e 7 tiveram os piores resultados de energia, portanto precisam ser monitorados e assessorados com mais urgência.

Deve-se ter cautela, todavia, para não reduzir o conforto dos usuários com as reduções de consumo de energia, por isso é importante a repetição da pesquisa de satisfação após implantação das MEEs para garantir que o alto índice de conforto não foi comprometido pela redução de consumo.

Após a entrega deste relatório, que é parte integrante da Fase 2 do Projeto, haverá a Fase 3 de Assessoria em duas edificações de cada empresa e Fase 4 de Implementação das Medidas de Eficiência Energética e Medição e Verificação das economias obtidas, com o acompanhamento através de indicadores de desempenho ao longo de 1 ano.

Por fim, conclui-se que os serviços de diagnóstico de energia e avaliação de conforto aplicados nos 8 edifícios cumpriram seu objetivo no projeto e se espera que, através desse trabalho, as empresas de *facilities* entendam a importância do tema e consigam incorporar e adotar essas ações como prática recorrente dentro de suas empresas. A Mitsidi Projetos agradece todo o empenho e dedicação das 2 beneficiárias, Auxiliadora Predial e Grupo Orion, prestados no projeto, sem o apoio das quais não teríamos o presente resultado.

# DEO

DESEMPENHO  
ENERGÉTICO  
OPERACIONAL  
EM EDIFICAÇÕES

Execução:

**mitsidi**  
PROJETOS

Realização:



**PROCEL**  
PROGRAMA NACIONAL  
DE CONSERVAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA



**Eletrobras**

