CBCS

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

DEO | DESEMPENHO ENERGÉTICO OPERACIONAL EM EDIFICAÇÕES

Relatório Final

Benchmarking de escritórios corporativos e recomendações para certificação **DEO** no Brasil

CBCS
Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

DEO | DESEMPENHO ENERGÉTICO OPERACIONAL EM EDIFICAÇÕES

Relatório Final

Benchmarking de escritórios corporativos e recomendações para certificação **DEO** no Brasil

ATIVIDADES 3 E 5

Metodologia para mensurar e avaliar o impacto do uso de Medidores Inteligentes (Smart Meters) em edifícios

Execução

CBCS Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

Parceria

PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Eletrobras

Apoio

GREAT BRITAIN

Embaixada Britânica Brasília

Ficha Técnica

CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

PRESIDENTE DO CONSELHO DELIBERATIVO Carlos Eduardo Garrocho de Almeida

DIRETORA EXECUTIVA Érica Ferraz de Campos

DIRETORES FINANCEIROS Rubens Costa de Almeida,
Wilson Saburo Honda (2014 a abril de 2015)

COORDENAÇÃO TÉCNICA Vanessa C. Heinrichs C. Oliveira

CONSELHO DELIBERATIVO Adriana Levisky, Cicero Liberal Yagi, Cristina Montenegro, Diana Csillag, Fabio Feldmann, Hamilton de França Leite Jr., Laura Marcellini, Leôncio Pedrosa, Marcelo Vespoli Takaoka, Olavo Kucker Arantes, Orestes Marracini Gonçalves, Paulo Itacarambi, Paulo Machado Lisboa, Roberto de Souza, Roberto Lamberts, Vahan Agopyan, Vanderley Moacyr John, Vera Fernandes Hachich

EQUIPE TÉCNICA

COORDENADOR COMITÊ TEMÁTICO DE ENERGIA Prof. Roberto Lamberts

LÍDER DO PROJETO Edward Borgstein

COLABORADORES Arthur Cursino, Alexandre Schinazi, Andre De Dominicis

PROCEL ELETROBRAS

GERÊNCIA Marco Aurélio Ribeiro Gonçalves Moreira [*Chefe da Divisão de Eficiência Energética no Setor Privado*] / George Alves Soares [*Chefe Interino do Departamento de Projetos de Eficiência Energética*] / Renata Leite Falcão [*Superintendente de Eficiência Energética*]

ANALISTAS João Queiroz Krause, Edison Alves Portela Junior

EMBAIXADA BRITÂNICA

EMBAIXADOR BRITÂNICO NO BRASIL Alex Ellis

ENCARREGADO DE NEGÓCIOS, *EMBAIXADA BRITÂNICA BRASÍLIA* Wasim Mir

BRITISH CONSUL GENERAL, *RIO DE JANEIRO* Jonathan Dunn

BRITISH CONSUL GENERAL, *SÃO PAULO* Joanna Crellin

BRITISH CONSUL GENERAL, *RECIFE* Gareth Moore

EQUIPE Tatiana Coutinho, Leisa Souza e Thais Oliveira

Controle de Revisões

VERSÃO	COMENTÁRIO	RESPONSÁVEL	DATA
00	Documento Preliminar emitido para comentários	EHB	07/05/2015
01	Revisão com comentários Eletrobras	EHB	06/07/2015
02	Emissão final após aprovação pelo conselho	EHB	27/08/2015
03	Correção de títulos de gráficos	EHB	02/12/2015
04	Revisão do benchmark após aplicação em 4 novos edifícios	AS	28/04/2016

AUTOR PRINCIPAL Edward Borgstein [Mitsidi Projetos]

PROJETO Aplicação do conhecimento do Reino Unido para desenvolvimento de uma rede elétrica mais inteligente no Brasil

OUTPUT 5 Metodologia para mensurar e avaliar o impacto do uso de Medidores Inteligentes (Smart Meters) em edifícios

ATIVIDADE 5.3 Desenvolvimento e publicação de um benchmark piloto

ATIVIDADE 5.5 Relatório final e recomendações para implantação de certificação DEO no Brasil

Sumário

Ficha técnica 3

Controle de revisões 4

Lista de imagens 9

Lista de tabelas 11

Lista de siglas, traduções e termos técnicos 12

1. Introdução 14

Contextualização do projeto 15

Projeto de *benchmarking* do CBCS 16

Trabalhos anteriores 17

Objetivos do relatório 17

2. Consumo energético em edifícios corporativos 18

Descrição da tipologia 19

Identificação dos usos finais de energia 20

Edifícios monousuário e multiusuário 21

Áreas comuns e áreas privativas 23

Área útil e medição de área 25

Sistemas de medição 26

Perfis de gestão 29

Sistemas de condicionamento de ar 31

3. Levantamentos estatísticos 36

Banco de dados 37

Avaliações de características e desempenho 37

4. Auditorias energéticas 43

Metodologia da auditoria energética 44

Descrição dos prédios 46

Divisão de consumo por uso final 48

Impacto do clima no consumo de ar condicionado 51

Levantamento de características detalhadas 53

Oportunidades de economia com eficiência energética 54

5. Simulação energética 56

Metodologia da simulação 57

Impacto do clima 60

Sistema de ar condicionado 64

Bombas e ventiladores 67

Sistemas de iluminação 68

Cargas de tomadas 69

6. Cálculo de consumos adicionais 72

CPDS, servidores e *datacenters* 73

Estacionamentos 76

Elevadores 77

Bombas de água potável 78

7. Desenvolvimento do benchmark 79

Metodologia adotada 80

Definição do *benchmark* 84

Equação dos *benchmarks* 85

Edifícios multiusuários 87

Exemplos de comparação com os *benchmarks* 88

Limitações do *benchmark* 89

8. Recomendações para certificação deo no brasil 92

Aplicação voluntária do *benchmark* 93

Programa nacional de certificação DEO 93

Garantia de qualidade 94

Certificação de prédios públicos 94

Implantação gradativa 95

Curadoria técnica do programa 95

Estudos e pesquisas 95

Referências 97

Apêndices 100

A. Lista de produtos do projeto 101

B. Ficha de *benchmark*, conforme padrão CBCS 102

C. Metodologias alternativas de cálculo do *benchmark* 104

Lista de Imagens

Figura 1 - Variação do consumo de energia em escritórios corporativos 38

Figura 2 – Relação entre consumo energético e densidade de ocupação 40

Figura 3 - Distribuição de sistemas de ar condicionado na amostra de escritórios corporativos 40

Figura 4 - Consumo de escritórios corporativos em função do sistema de ar condicionado.....41

Figura 5 - Fotos das fachadas de sete escritórios corporativos (Fonte: Mitsidi Projetos) 42

Figura 6 - Divisão de consumo por uso final em áreas comuns e privativas.... 49

Figura 7 - Consumo total específico por uso final 49

Figura 8 - Consumo total específico por uso final (12 categorias) 50

Figura 9 - Faixas de consumos específicos encontrados para cada uma das 5 categorias de uso final 50

Figura 10 - Faixas de consumos específicos encontrados para cada uma das 12 categorias de uso final.....51

Figura 11 - Comparação do consumo específico de ar condicionado 52

Figura 12 - Visualiações do modelo de simulação do prédio inteiro (esquerda) e do pavimento tipo (direta) 59

Figura 13 - Comparação do modelo do prédio inteiro com o pavimento tipo.....59

Figura 14 - Graus-hora de resfriamento e consumo energético com diferentes modelos e níveis de proteção solar, considerando 10 cidades no Brasil 62

Figura 15 - Impacto de irradiação solar no consumo energético, consideradndo 10 cidades no Brasil 63

Figura 16 - Eficiência da fachada e consumo energético 63

Figura 17 - Tamanho da laje e consumo energético, considerando o modelo de linha de base (70% PAF, fator solar 0,62) 63

Figura 18 - Variação de consumo energético com clima para diferentes níveis de abertura na fachada (PAF) 64

Figura 19 - Consumo energético e consumo de água em CAGs com diferentes chillers 66

Figura 20 - Consumos de energia e eficiência de sistemas de ventilação 68

Figura 21 - Consumo de energia com diferentes estratégias de iluminação ... 69

Figura 22 - Consumo energético e densidade de ocupação, com simulação .. 71

Figura 23 - Comparação dos edifícios estudados com benchmarks 89

Figura 24 - Comparação de um edifício multiusuário estudado com benchmarks das áreas privativas e comuns 89

Lista de tabelas

Tabela 1 - Definição de usos finais de energia 21

Tabela 2 - Divisão de áreas comuns e privativas em edifícios multiusuários ... 24

Tabela 3 - Características gerais dos edifícios visitados..... 48

Tabela 4 - Variação sazonal de consumo de ar condicionado 53

Tabela 5 - Levantamentos detalhados em edifícios 54

Tabela 6 - Separação de usos finais por metodologia de cálculo 58

Tabela 7 - Simulação de impactos de variação na densidade de ocupação..... 71

Tabela 8 - Variáveis de consumo energético e fases na vida da edificação 81

Tabela 9 - Variáveis dependentes e independentes de consumo energético .. 83

Tabela 10 - Valores de variáveis de desempenho energético 84

Tabela 11 - Valores dos constantes das equações de benchmarking..... 87

Tabela 12 - Consumos das áreas comuns e privativas..... 88

Tabela 13 - Valores dos constantes das equações de benchmarks alternativos ..107

Lista de siglas, traduções e termos técnicos

Accreditation Scheme – Programa de capacitação e registro, responsável por registrar os auditores que preparam DECs e pela interface entre os auditores, o governo e o registro central.

Benchmark – Linha de base que representa um determinado nível de desempenho, para ser utilizado para comparações. Um benchmark pode representar um valor típico ou uma meta, dependendo do contexto.

BMS – Building Management System, Sistema de Automação Predial

CIBSE – Chartered Institute of Building Services Engineers, Instituto de Engenheiros de Sistemas Prediais do Reino Unido.

Compliance – Cumprimento e conformidade com uma determinada legislação, procedimento ou norma.

CPD – Centro de Processamento de Dados, ou datacenter.

DEO – Desempenho Energético Operacional.

Energy Assessor – Auditor, ou auditor energético, profissional devidamente capacitado e registrado, é responsável por realizar visitas técnicas, levantamentos e cálculos por emitir os DECs.

Operational Rating – Uma avaliação da eficiência energética operacional de um edifício, com base no consumo energético real, medido durante um período de operação. No Reino Unido, é calculado conforme a metodologia da CIBSE TM47 e o software ORCalc.

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem.

PUE – Power Usage Effectiveness, Efetividade de Utilização de Potência

Split Incentives – Incentivos divididos. Este termo é utilizado para descrever a divisão entre o usuário, que receberá os benefícios de trabalhos de eficiência energética, e o proprietário, que geralmente terá que arcar com os custos de tais medidas.

TM – Technical Memorandum, Comunicação Técnica.

VRF – Variable Refrigerant Flow, sistema de ar condicionado com fluxo variável de fluído refrigerante.

1. Introdução

CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO 15

PROJETO DE BENCHMARKING DO CBCS 16

TRABALHOS ANTERIORES 17

OBJETIVOS DO RELATÓRIO 17

CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO

Este trabalho refere-se ao Produto 5 do projeto "Aplicação de conhecimento do Reino Unido para desenvolvimento de uma rede elétrica mais inteligente no Brasil" (Applying UK expertise to develop a smarter grid in Brazil), financiado pelo Ministério de Relações Internacionais do Reino Unido (Foreign and Commonwealth Office). O projeto engloba cinco atividades diferentes que serão integradas para maximizar o impacto do projeto e o benefício às instituições envolvidas. O Produto 5 envolve o desenvolvimento de conhecimento nas áreas de medição e verificação e o relatório de consumo energético em edifícios, investigando os potenciais impactos de medidores inteligentes e etiquetagem energética e propondo a aplicação destas ferramentas em edifícios públicos e comerciais.

O Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações (PBE-Edifica) define classes de desempenho energético potencial para as construções. No Escopo de Edificações Comerciais, de serviços e públicas, são considerados requisitos de eficiência para sistemas de ar condicionado, iluminação e para a envoltória da edificação, atuando como uma ferramenta de informação ao consumidor. Este é um instrumento que pode futuramente funcionar como um indutor massivo de eficiência energética, caso seu regime passe a ser compulsório e índices mínimos sejam estabelecidos. Ainda assim, há um grande potencial para um aumento da eficiência energética em edificações existentes, que não é atingido por este formato. Neste caso, a ferramenta mais adequada seria a adoção de um processo de certificação de Desempenho Energético Operacional (DEO), como uma ferramenta de informação ao usuário, comparando o uso real da energia nas edificações com *benchmarks* de consumo que representem a média do mercado.

O uso de tecnologias de medição inteligente (Smart Meters) pode: facilitar, automatizar parcialmente e tornar mais preciso o processo de coleta de dados e, consequentemente, aumentar o impacto da certificação das edificações em operação. A associação entre a etiqueta do PBE Edifica e a certificação DEO cria ainda a possibilidade de avaliar usos inadequados,

falta de manutenção preventiva, perda de rendimento de certos sistemas, suscetibilidade de alteração das propriedades da envoltória por falta de manutenção, entre outros. Esse tipo de informação permite, muitas vezes, que seja tomada uma decisão a favor de medidas simples de eficientização de sistemas, que propiciam grande impacto no consumo, ao invés de grandes e caros retrofits. A análise contínua dessas informações permite ainda a medição e verificação da economia de consumo proveniente da implementação de melhorias na envoltória e nos subsistemas consumidores. Desse modo, é possível pautar a melhoria contínua dos Regulamentos Técnicos da Qualidade para a Eficiência Energética em Edificações, bem como ter acesso aos financiamentos provenientes do Programa de Eficiência Energética da ANEEL, para os quais o PIMVP (Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance) deve ser levado em consideração e que atualmente não recebem amparo técnico de nenhuma certificação de terceira parte, nem dispõem de metodologia específica para tal (em relação a alterações na envoltória ou otimização de sistemas, atendendo somente à substituição de equipamentos).

PROJETO DE *BENCHMARKING* DO CBCS

Desde o início de 2013, o Comitê Temático de Energia (CT-Energia) do CBCS tem como objetivo principal das suas atividades o desenvolvimento de indicadores e ferramentas relacionados ao consumo energético edificações em operação.

Por meio de reuniões regulares com filiados do CBCS, convidados especiais e outros stakeholders, o CT-Energia tem se tornado um fórum para disussão e desenvolvimento de conhecimento nesta área. A metodologia para desenvolvimento de *benchmarks* e o formato padrão para publicação dos mesmos foram desenvolvidos no âmbito deste fórum, e publicados no site do CBCS para livre acesso dos filiados.

A escolha de dados que possibilitaram a criação deste relatório foi realizada por meio dos parceiros e integrantes do CT-Energia, esses participa-

ram tanto com a disponibilização de dados, quanto com a identificação de edifícios a realização das auditorias energéticas.

TRABALHOS ANTERIORES

As primeiras atividades deste projeto trouxeram conhecimento sobre o sistema de etiquetagem para edifícios existentes no Reino Unido (DECs), e sobre o potencial de utilização de medidores inteligentes para aumentar a eficiência operacional de edifícios, com foco especial em prédios públicos. Estes relatórios estão disponibilizados junto ao presente relatório, e servem para informar o desenvolvimento do *benchmark*, o formato e as recomendações para implementação.

Também foi realizada uma oficina de certificação de desempenho energético operacional, com particpação ativa dos setores público e privado, identificando questões chave para a implementação de tal programa no Brasil, com base em experiências internacionais e no conhecimento dos participantes. Os resultados da oficina foram levados em consideração para a elaboração deste relatório e também na identificação de recomendações.

OBJETIVOS DO RELATÓRIO

O relatório aqui apresentado representa a conclusão deste projeto. Estão compilados aqui os resultados das auditorias energéticas com o desenvolvimento do *benchmark* de consumo e as recomendações finais para implantação de um programa de certificação de desempenho energético operacional (DEO) no Brasil.

Os principais resultados deste relatório serão publicados no formato de uma ficha técnica no site do CBCS, e servirão como base para programas voluntários de eficiência em edifícios existentes e também para a elaboração de um programa nacional nesta área.

2. Consumo energético em edifícios corporativos

DESCRIÇÃO DA TIPOLOGIA 19

IDENTIFICAÇÃO DOS USOS FINAIS DE ENERGIA 20

EDIFÍCIOS MONOUSUÁRIO E MULTIUSUÁRIO 21

ÁREAS COMUNS E ÁREAS PRIVATIVAS 23

ÁREA ÚTIL E MEDIÇÃO DE ÁREA 25

SISTEMAS DE MEDIÇÃO 26

PERFIS DE GESTÃO 29

SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR 31

DESCRIÇÃO DA TIPOLOGIA

Conforme a metodologia desenvolvida pelo CBCS, o desenvolvimento de um *benchmark* de consumo energético é feito para uma determinada tipologia construtiva.

Este projeto aplica-se a edifícios de escritórios corporativos, localizados no Brasil.

O termo "escritórios corporativos" foi escolhido para este projeto por representar uma tipologia claramente definida, com perfis de consumo e de operação que são parecidos dentro do estoque, e que compartilham muitas características técnicas de construção. Foi necessário separar a tipologia de escritórios, pois há diferenças importantes entre escritórios comuns, escritórios pequenos e escritórios corporativos, já que esses apresentam perfís de consumo diferentes conforme os estudos preliminares do CBCS. Os termos "escritórios grandes" e "escritórios de alto padrão" foram considerados no início do projeto, mas foram posteriormente descartados para não representar adequadamente a tipologia.

De forma geral, um escritório corporativo é um edifício grande, geralmente com mais de 18 andares e área de laje acima de 700m² (em alguns casos, os edifícios são mais baixos mas têm grandes áreas de laje). A tipologia inclui alguns edifícios públicos, mas a maioria é comercial. Dentro de edifícios comerciais, existem muitos edifícios multiusuários, em que se aluga a laje ou conjunto; nestes casos, há uma separação de consumo energético entre as áreas comuns (geralmente rateado no condomínio) e as áreas privativas. A situação mais comum é a existência de um medidor de energia para cada inquilino. Também existem edifícios monousuários, nos quais a conta de energia representa a totalidade da edificação.

O mercado imobiliário utiliza as terminologias de edifício AAA, AA, A e B (estas categorias não estão relacionados com as classes de etiquetagem de eficiência). Foi realizado um levantamento das definições, que

são parecidas com a definição de escritório corporativo; porém, não foi possível adotar uma definição tão simples, devido à variação nas definições entre diferentes empresas do mercado, e à inexistência destas definições para edifícios públicos.

Escritórios corporativos têm altas densidades de consumo energético, devido ao uso intenso de computadores e centrais de processamento de dados (CPDs). Também têm exigências de conforto térmico aos usuários; perto de 100% da área útil é condicionada, com predominância de sistemas centrais de ar condicionado utilizando água gelada e VRFs em novas edificações. Em alguns casos, os edifícios têm sistemas de *Selfs* ou *Splits*, bem como combinações entre sistemas (onde *splits* ou unidades de janela servem como *backup* ou como subsídio temporário para aumentar a capacidade de refrigeração de um sistema central desatualizado ou depreciado) principalmente nas edificações mais antigas.

IDENTIFICAÇÃO DOS USOS FINAIS DE ENERGIA

Uma questão importante na definição de uma tipologia é a identificação dos diferentes consumos energéticos existentes nos edifícios dessa tipologia. Estes são chamados de "usos finais" de energia, e são elencados para identificar perfis de consumo e considerar as necessidades de serviços proporcionados pelo consumo energético na edificação.

Para a separação de usos finais, foram definidas 12 categorias, descritas na **TABELA 1**. Para clareza e simplicidade em algumas análises, decidiu-se uní-las para formar 5 categorias gerais, também demonstradas na tabela.

CATEGORIA GERAL	SUB-CATEGORIA	DEFINIÇÃO
Ar Condicionado e Ventilação	Refrigeração	*Chillers* (compressor); Bombas de água gelada (BAG); *Selfs* (apenas compressor); VRF (apenas compressor); *Splits*
	Rejeição de Calor	Torres de resfriamento; Bombas de água de condensação (BAC); Ventiladores (de *chiller* ou VRF com condensação a ar); *Drycoolers*
	Ventilação (Insuflamento)	Fancoils e fancoletes; Evaporadoras; *Selfs* (apenas ventilador para insuflamento); Ventiladores para renovação de ar; Exaustores dos pavimentos ou banheiros para extração de ar
	Exaustão Subsolos	Exaustores dos subsolos
Iluminação	Iluminação	Toda iluminação (áreas privativas, comuns, externas, estacionamentos etc.)
Cargas de Tomada	Cargas de Tomada	Individuais: Laptops, desktops, monitores, telefone; Coletivas: Impressoras, copiadoras, máquinas de café, micro-ondas, geladeiras etc.
Cargas Especiais	Data Centers	Servidores, UPS e sistemas de climatização exclusivos dos *Data Centers* (incluindo refrigeração, rejeição de calor e ventilação/insuflamento)
	Outros	Eventuais outros consumos e usos finais não contemplados nas demais categorias, como laboratórios, antenas de telefonia, e demais cargas excepcionais
Outros	Bombeamento de Água Potável	Bombas de água potável, pluvial, de reuso, de recalque e de esgoto
	UPS's para cargas de tomada	UPS para as cargas de tomada dos pavimentos, excluindo os *Data Centers*
	Cozinhas	Equipamentos elétricos de cozinhas e restaurantes; Sistemas completos de refrigeração de alimentos, como câmaras frigoríficas; Sistemas de exaustão de cozinhas
	Elevadores	Motores dos elevadores

***Tabela 1** - Definição de usos finais de energia*

EDIFÍCIOS MONOUSUÁRIO E MULTIUSUÁRIO

Os levantamentos realizados pelo CBCS mostram que há quantidades significativas de escritórios corporativos tanto monousuários quanto multiusuários. As características são distintas e devem ser levadas em consideração para o *benchmarking*.

Em edifícios monousuário, não existe divisão entre áreas comuns e privativas. O importante é conhecer o consumo total do edifício (por m²), e poder compará-lo com consumos totais (por m²) de outros edifícios. O ocupante do imóvel é afetado diretamente pela qualidade da operação das instalações consumidoras de energia, e tem benefício direto em melhorias eventuais. O ocupante pode ou não ser o proprietário, mas de qualquer forma ele terá a principal influência sobre consumo do prédio como um todo, e será o principal impactado financeiramente pelo consumo.

Em edifícios multiusuários, existe uma diferenciação de áreas comuns e áreas privativas. A divisão entre essas áreas é importante, e geralmente implica também em uma separação das contas de energia.

Em edifícios multisuários, há diferentes perfis de empresas que podem estar interessadas na busca de *benchmarks* de consumo:

• Ocupante de um ou mais pavimentos, para saber como o consumo específico sob sua responsabilidade se compara com o de outros locatários, do mesmo edifício ou de outros edifícios com características semelhantes. (Interesse principal: áreas privativas).

• Ocupante de um ou mais pavimentos, para saber se a área comum do edifício está consumindo muita ou pouca energia em comparação com a média do setor, já que o consumo das áreas comuns reflete no valor do condomínio pago pela empresa. Assim, o ocupante poderá pressionar a administração do edifício por melhorias nas áreas comuns. (Interesse principal: áreas comuns).

• Administradora do imóvel ou empresa de O&M, interessada em demonstrar boa gestão e O&M, ou em conhecer seu real potencial para melhoria. Tem interesse em comparar o consumo real sob sua influência com o de outros edifícios. (Interesse principal: áreas comuns).

• A administradora ou empresa de O&M também pode estar interessada em comparar o consumo do edifício como um todo com o *benchmark*, dependendo de como é feita a divisão entre comuns e privativas em cada edifício, pois em alguns casos, sua gestão poderá ter forte impacto sobre o consumo atribuído às áreas privativas também. (Interesse principal: consumo total).

• Proprietário (parcial ou integral) do imóvel, interessada em atrair locatários, tem interesse em comparar o consumo das áreas comuns com o de outros prédios, para fazer marketing de um condomínio mais barato. (Interesse principal: áreas comuns).

• O proprietário pode se interessar também pelo consumo real do edifício como um todo, para demonstrar o potencial que as áreas privativas têm para ter um consumo eficiente, usando o consumo *real* dos atuais locatários (*operational rating*), ao invés de usar a certificação atribuída à construção e instalações, como LEED CS ou PBE Edifica para Edifícios Comerciais (RTQ-C), avaliações teóricas. Isso permite a avaliação do desmpenho, e pode servir como base para a obtenção de certificações operacionais como LEED EB:O&M (Interesse principal: consumo total).

ÁREAS COMUNS E ÁREAS PRIVATIVAS

Os edifícios multiusuários têm diferentes divisões entre consumos nas áreas privativas e nas áreas comuns. Geralmente, essa divisão está relacionada com a forma de medição e rateio de consumo entre os locatários:

- Os consumos das áreas privativas são aqueles medidos individualmente para cada conjunto ou locatário, seja com medição e faturamento direto pela concessionária, seja com sub-medição realizada pela administração do edifício.

- Os consumos das áreas comuns são aqueles medidos de forma centralizada e depois rateados entre os locatários. Podem ser definidos como uma combinação de dois tipos de consumos:
  > *Energia consumida para uso final dos locatários, mas medida de forma centralizada e depois rateada entre os locatários, tais como chillers.*
  > *Energia consumida para uso final dos espaços e serviços comuns do edifício, como elevadores, recepção, administração etc.*

Assim, percebe-se que a divisão nem sempre está relacionada com a localização física de determinado equipamento, nem mesmo com o usuário final daquela energia (locatários ou administradora), mas sim com a forma de medição e rateio.

Na **TABELA 2** são descritas algumas características sobre as diferenças entre áreas comuns e privativas para as cinco categorias de consumo, em edifícios multiusuários. Uma observação importante: para edifícios em que cada pavimento possui apenas um conjunto, ou seja, permite apenas um locatário por pavimento, alguns consumos geralmente considerados comuns podem passar a ser privativos, incluindo *fancoils*, compressores e consumos relacionados ao *core*, como iluminação e climatização do hall de elevadores, por exemplo. A **TABELA 2** descreve a divisão mais comum para edifícios que possuem mais de um conjunto por pavimento, e têm, portanto, um *core* comum.

CATEGORIA	GERALMENTE:		GRANDE VARIAÇÃO ENTRE EDIFÍCIOS	OBSERVAÇÕES
	ÁREAS COMUNS	ÁREAS PRIVATIVAS		
AR CONDICIONADO				
Sistema de Central de Água Gelada				
CAG (*chillers*, torres/*drycoolers* e bombas)	X			-----
Fancoils		X		A forma de medição e rateio dos *fancoils* varia entre os edifícios, ora sendo medida junto com as áreas privativas, ora não.
Selfs				
Selfs			X	Depende da localização: no *core*, com distribuição para todos os conjuntos (comum), ou em sala de máquinas por conjunto (privativo). No caso de edifícios com 1 conjunto por pavimento: áreas privativas.
Torres/*drycoolers* e bombas de condensação (BACs)			X	Quando as torres são exclusivas para determinados locatários, podem ser faturadas como áreas privativas.
VRF, condensação a ar				
VRF (compressor + condensadora + rejeição de calor)			X	Se os VRFs estiverem localizados próximos à fachada, normalmente serão privativos. Se estiverem no *core* com vão para rejeição de calor, podem ser comuns.
Evaporadoras		X		-----
VRF, condensação a água				
VRF (compressor + condensadora)			X	Geralmente, depende da localização: se estiver no *core*, serão áreas comuns; se estiver em sala de máquinas por conjunto, serão áreas privativas. No caso de edifícios com 1 conjunto por pavimento: áreas privativas.
Torres/*drycoolers* e BACs	X			-----
Evaporadoras		X		-----
Splits				
Splits (compressor, evaporadora, condensadora)		X		-----
RENOVAÇÃO DE AR				
Ventiladores e exaustores	X			Em alguns casos, os ventiladores podem estar localizados nas áreas privativas. Mas em geral, estão em áreas comuns.
EXAUSTÃO DOS SUBSOLOS				
Exaustores	X			-----
ILUMINAÇÃO				
Áreas privativas		X		-----
Core / Hall de elevadores	X			Geralmente, para edifícios com mais de um conjunto por pavimento, será área comum. Para edifícios com 1 conjunto por pavimento, poderá ser área privativa.
Pavimentos de uso geral, como térreo	X			-----
Externa	X			Pode ser privativa, se for iluminação de sacadas privativas.
Estacionamentos	X			-----
CARGAS DE TOMADA				
Cargas de tomada		X		-----
CARGAS ESPECIAIS				
Data Centers		X		-----
Outros			X	Depende da carga.
OUTROS				
Bombeamento de Água Potável	X			-----
UPS's para cargas de tomada		X		-----
Cozinhas			X	Se as cozinhas forem faturadas individualmente, podem ser consideradas áreas privativas, caso a empresa que presta serviços de restaurante seja considerada como um locatário. Em outros casos, as cozinhas são consideradas como um serviço oferecido pelo edifício aos locatários; neste caso, serão consideradas áreas comuns.
Elevadores	X			-----

***Tabela 2** - Divisão de áreas comuns e privativas em edifícios multiusuários*

ÁREA ÚTIL E MEDIÇÃO DE ÁREA

Foi percebido que existe uma divergência entre diferentes empresas na forma de calcular as áreas dos empreendimentos.

Dentre os edifícios estudados em mais detalhe, alguns forneceram apenas um valor de área bruta locável. Já outros forneceram valores de área útil, ora incluindo estacionamentos, ora excluindo-os. Ainda outros enviaram tabelas completas com metragem quadrada de cada área do prédio.

Alguns ambientes podem ou não estar inclusos na área calculada, tais como estacionamentos, hall de elevadores, áreas técnicas nos pavimentos tipo (no core), áreas técnicas em outros locais, áreas locadas por lojas, cobertura, áreas comuns como restaurantes e recepção, entre outros.

A definição de área útil utilizada é muito importante, já que a comparação com o benchmark é medida em kWh/(m².ano). Como o consumo energético anual é normalizado pela área útil, o cálculo dessa área deve ser padronizado.

Recomenda-se que seja utilizada a "área útil condicionada ocupada", que exclui estacionamentos e áreas técnicas, incluindo, portanto, apenas as áreas condicionadas. Esse valor leva ainda em consideração a taxa de vacância do edifício, a fim de normalizar o EUI pela ocupação média durante o período para o qual o consumo energético foi informado. O cálculo se dá da seguinte forma:

$$A_{Util_Cond_Ocup} = (A_{Constr_Tot} - A_{Estac}) \times \%_{Cond} \times (1 - \%_{Vac})$$

$$A_{Util_Cond_Ocup} = A_{Util} \times \%_{Cond} \times \%_{Ocup}$$

Onde:

- $A_{Util_Cond_Ocup}$ = Área Útil Condicionada Ocupada

- A_{Constr_Tot} = Área Construída Total, incluindo estacionamentos e áreas técnicas

- $AEstac$ = Área de Estacionamentos

- $A_{Util} = (A_{Constr_Tot} - A_{Estac})$ = Área Útil, sem estacionamentos, com áreas técnicas

- $\%_{Cond}$ = Percentual de Área Condicionada

- $\%_{Vac}$ = Taxa de Vacância média durante o período para o qual o consumo energético anual foi informado

- $\%_{Ocup} = (1 - \%_{Vac})$ = Taxa de Ocupação média durante o período para o qual o consumo energético anual foi informado

Quanto à taxa de vacância, esse é um fator que influencia o consumo energético, e, portanto, deve ser considerado. Em geral, é recomendado que essa taxa seja calculada pela quantidade de pavimentos desocupados, ou pela quantidade de conjuntos desocupados. Uma medida de vacância que conta a quantidade de pessoas não é válida, pois o condicionamento e a iluminação do espaço são geralmente realizados por conjunto. Quando há variação na taxa de vacância ao longo do tempo, deve ser calculada a taxa para cada mês do ano, a fim de realizar uma média total para o ano para normalização com o consumo anual.

SISTEMAS DE MEDIÇÃO

De acordo com o levantamento feito, a maior parte dos edifícios de tipologia corporativa não possui sistema de medição que permita uma gestão energética adequada. Frequentemente, a única forma de medição presente se dá através dos medidores da concessionária de energia elétrica, que não possuem registradores de dados, e são usados, na prática, apenas para a fatura mensal.

Existem dois casos gerais quanto aos medidores da concessionária:

1) Um medidor individual por conjunto, mais um medidor (ou mais) para as áreas comuns. Nesses casos, cada locatário recebe uma fatura individual, o que dificulta o conhecimento e a gestão do consumo total do edifício pela administradora. Apenas os consumos das áreas comuns são de conhecimento da administradora, que faz o rateio desses entre os locatários.

2) Apenas um medidor geral da concessionária para o edifício. Nesses casos, a administradora é responsável por fazer o rateio dos custos da fatura entre os locatários. O rateio pode se basear em diferentes fatores, alguns listados abaixo, sendo que a opção de submedidores é a única recomendada:

a. Submedidores do edifício em cada conjunto;

b. Estimativa baseada em potência instalada; ou

c. Estimativa baseada no histórico de consumo.

Dos edifícios que possuem submedidores para cada conjunto, existem dois casos gerais:

1) Submedidores inteligentes com registradores de dados, ligados ao sistema de automação predial do edifício. Nesses casos, a leitura dos medidores é automática, e o consumo e potência podem ser monitorados em períodos menores que um mês, com registros horários ou diários, por exemplo. Esses casos são encontrados com maior frequência em edifícios mais novos ou que tenham passado por *retrofits* recentemente.

2) Submedidores sem registradores de dados e não ligados ao sistema de automação. Nesses casos, a leitura dos medidores é manual, e o registro dos dados é feito manualmente em planilha Excel, aumentando a incidência de erros.

As áreas comuns também divergem quanto à forma de medição. Há

edifícios em que o consumo das áreas comuns não é medido, mas é simplesmente deduzido como a diferença entre a medição geral da concessionária e os consumos submedidos dos pavimentos. Em outros casos, há submedição de itens específicos dentro das áreas comuns, como CAGs, restaurantes e a recepção, por exemplo. A forma de rateio dos consumos do condomínio é frequentemente calculada através de planilhas Excel, baseada em fatores como metragem quadrada ocupada, potência instalada, consumo privativo histórico ou medido, ou outros fatores. Em muitos casos as planilhas são complexas e os cálculos difíceis de se rastrear ou verificar, comprometendo a transparência no conhecimento do consumo e na cobrança dos valores a serem pagos pelos locatários.

No caso de submedição do sistema central de ar condicionado, o rateio entre os locatários é por vezes baseado na potência de componentes de ar condicionado instalada em cada conjunto.

Alguns edifícios, principalmente os mais modernos, são equipados com um BMS (*Building Management System*) que permite automação predial, monitoramento detalhado e uma análise crítica dos consumos. Às vezes é utilizado um software de gestão de energia para registrar o histórico de demanda e consumo horário, diário, semanal, mensal e anual. No entanto, foi constatado que a simples existência do *software* ou do BMS não indica que ele esteja sendo usado de fato para fazer análises críticas e orientar buscas por melhorias.

Alguns consumos específicos considerados privativos também podem ser submedidos individualmente, tais como CPDs, lojas, academias, cozinhas, ou máquinas específicas de algum dos locatários.

Foram encontrados casos de edifícios com presença de BMS e submedidores inteligentes, cujos medidores não estavam programados para atuar em conjunto com o sistema de automação, e, na prática, não eram utilizados. Essa situação leva a um desconhecimento do consumo de cada locatário, e a uma forma de rateio que não é baseada em consumos

reais, mas, sim, em fatores imprecisos como o histórico de consumo.

São feitas três considerações finais sobre os sistemas de medição dos edifícios corporativos:

• A existência de um sistema de automação predial e de submedidores inteligentes não é suficiente para garantir uma medição eficaz. É preciso que o sistema de medição esteja programado corretamente, calibrado, e bem operado, o que, em geral, não ocorre.

• O sistema de medição é um fator essencial para garantir transparência entre os locatários e os administradores e proprietários do imóvel. Fatores como ausência de submedição ou falhas nos procedimentos de coleta de dados dos medidores comprometem a transparência, criam barreiras para ações de eficiência energética e podem causar atritos entre as partes. Por outro lado, o faturamento individual sem que haja acesso aos dados centralizados pela administradora, dificultam a gestão do edifício e, portanto, a implantação de ações de eficiência energética.

• Um sistema de medição completo e transparente é necessário para que se possa mensurar economias conquistadas com a implantação de medidas de eficiência, e para que se possa alocar as economias adequadamente para beneficiar aqueles que implantaram as melhorias.

Essas considerações são importantes para entender algumas das barreiras que existem contra a implantação de medidas de eficiência energética.

PERFIS DE GESTÃO

Os edifícios corporativos tipicamente têm um perfil de gestão composto de uma empresa responsável pela administração do condomínio e das áreas comuns, sendo os serviços prediais, como O&M, limpeza e automação, subcontratados. Raramente há uma empresa subcontratada para o serviço de gestão de energia. Quando há uma gestão de energia dedicada, normalmente é realizada pela equipe própria da administra-

dora, pela empresa de O&M, ou pela empresa de automação, quando o prédio possui um BMS. A gestão de energia frequentemente limita-se ao registro da fatura mensal da concessionária numa planilha Excel e o cálculo do rateio entre os locatários, mas em poucos casos há uma gestão mais completa que compreende uma análise de perfis de consumo e uma busca estruturada por melhorias.

A gestão predial pode ser realizada por uma empresa intrinsicamente ligada ao edifício em si, ou por uma grande empresa responsável pela gestão de diversos edifícios no país.

A empresa de gestão predial tem uma influência importante no consumo do edifício, dependendo de seu grau de empenho para encontrar formas de reduzir o consumo das áreas comuns do edifício, especialmente em prédios com sistemas de água gelada, em que a CAG pode ser responsável por mais de 30% do consumo total do edifício. No entanto, algumas dificuldades observadas foram:

- A gestão energética não está no escopo de serviços da administradora, que não possui recursos humanos nem financeiros dedicados a essa tarefa;

- A gestão energética não é o core business da administradora, que não possui profissionais capacitados para realizar auditorias energéticas e identificar e aplicar as melhorias de eficiência;

- A empresa de gestão predial não é beneficiada diretamente pelas economias de energia alcançadas, uma vez que os custos de energia são rateados pelos condôminos. Os eventuais benefícios para a administradora, como marketing e a consequente obtenção de contratos futuros, são intangíveis e difíceis de mensurar;

- Para implantar determinadas medidas, a administradora precisaria contar com a colaboração das empresas ocupantes do edifício, o que nem sempre ocorre;

- A falta de procedimentos de gestão energética e de padronização nas plani-

lhas de controle compromete a qualidade da informação disponível para que a empresa de gestão possa tomar decisões eficazes;

• Investimentos necessários nem sempre são aprovados pelos proprietários ou responsáveis financeiros pelo edifício, atrasando ou mesmo impedindo a implantação de melhorias.

Alguns desses entraves podem ser flexibilizados de forma contratual, através de contratos de locação que obriguem os locatários a cumprirem determinadas diretrizes de eficiência energética, ou através dos chamados *split incentives*.

Nos casos das melhorias que beneficiarão os locatários, porém com investimento dos proprietários ou dos administradores, existem mecanismos que permitem compartilhar os custos e/ou os benefícios, desse modo, as ações de melhoria tornam-se atrativas para todos os envolvidos. Os chamados *split incentives* podem ser realizados através de cláusulas especiais em documentos de locação, acordos pontuais e outras ferramentas.

SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR

Em muitos casos, os sistemas de ar condicionado são os principais consumidores de energia em edifícios de escritórios corporativos, e mostram variações importantes em sua tecnologia e funcionamento. Desta forma, é importante considerar quais tipos de ar condicionado existem nestas edificações. Abaixo é feita uma caracterização geral dos principais tipos de sistema encontrados em escritórios corporativos.

I. Sistema Central de Água Gelada (CAG / Fancoil)

Este sistema dispõe de uma central de água gelada (CAG), que contém o *chiller* e as bombas de água gelada (BAGs). A CAG distribui a água gelada para os *fancoils* localizados nos pavimentos. Nos *fancoils*, a água gelada resfria o ar, que é insuflado no ambiente através de difusores

como cassettes e difusores lineares próximos às fachadas, ou através das luminárias. O ar de retorno geralmente volta pelo pleno até a sala de máquinas, onde está localizado o *fancoil*.

Nos sistemas de VAV (Volume de Ar Variável), a distribuição de ar é automatizada para reduzir consumo. O ambiente é dividido em zonas, cada qual com seu sensor de temperatura e *setpoint*, e o difusor VAV de cada zona deixa passar mais ou menos ar em função da temperatura e demanda da zona, gerando alterações na pressão nos dutos de ar. O *fancoil*, por sua vez, modula a velocidade de seu ventilador de forma automatizada para manter a pressão, na prática reduzindo o seu consumo quando a demanda de frio é menor.

Esses sistemas são mais frequentes em ambientes em que há muitas salas individuais ou de reunião, que geram necessidades de refrigeração diferentes dos *open spaces*. Por outro lado, o levantamento demonstrou que os sistemas VAVs nem sempre estão dimensionados de acordo com a demanda real atual dos locatários, uma vez que foram projetados para um *layout* e estimativa de população original que frequentemente não correspondem à atual situação.

Muitos edifícios possuem sistema de VAC (Volume de Ar Constante), que não apresenta automação na distribuição de ar gelado.

A rejeição de calor da CAG pode ser feita de duas formas:

- Sistema com condensação a ar:

O *chiller* possui um ventilador para favorecer a passagem de ar externo, para o qual o fluido refrigerante transfere o calor na etapa de condensação.

- Sistema com condensação a água:

Há um circuito separado de água de condensação, em que as bombas de água de condensação (BACs) na CAG garantem a circulação da água entre a condensadora dos *chillers* e as torres de resfriamento, onde ocorre a rejeição de calor para o ambiente externo.

A renovação de ar externo geralmente é feita através do insuflamento de ar externo para dentro da sala de máquinas dos pavimentos (onde estão localizados os *fancoils*), o ar externo é então misturado ao ar interno. A troca de ar pode ser feita através de ventilação mecânica, seja com ventiladores centralizados próximo à cobertura, seja localizados em cada pavimento; ou ventilação natural, com aberturas na fachada ligadas diretamente às salas de máquinas.

A exaustão também pode ser mecânica, frequentemente através dos banheiros com exaustores centrais próximos à cobertura; ou natural, devido à pressão positiva, pelos vãos das escadas e elevadores e pelas janelas nos casos dos prédios com janelas operáveis.

O nível de automação de um sistema de CAG pode variar muito. Sistemas mais antigos praticamente não têm automação, já sistemas novos podem trabalhar com vários mecanismos de automação, tais como VAVs, variadores de frequência (VFDs) nas BAGs, *chillers* modulares e inteligentes, VFDs e sensores de temperatura nas torres de resfriamento, VFDs e sensores de dióxido de carbono (CO2) ou sensores de presença que atuam nos ventiladores e exaustores, e monitoramento e controle central através de um BMS.

II. VRF

Composto de unidades condensadoras descentralizadas nos pavimentos, que contêm os compressores. O fluido refrigerante circula entre os compressores e as evaporadoras, localizadas no pleno, onde ocorre a troca de calor entre o fluido e o ar do ambiente, que é então insuflado no ambiente pelas próprias evaporadoras.

O sistema é modular, pois cada pavimento e conjunto são independentes dos demais. Cada compressor distribui fluido para um grupo de evaporadoras. Cada evaporadora atende uma zona, com um sensor de temperatura e um *setpoint*. Um sistema de automação controla a velocidade

de rotação do compressor, que possui variador de frequência (VFD), em função da demanda de resfriamento e da temperatura em cada zona, regulando assim a quantidade de fluido circulando em cada evaporadora.

A rejeição de calor das unidades condensadoras geralmente é feita com condensação a ar, mas pode ser feita de duas formas:

- Sistema VRF com condensação a ar:

A condensadora VRF possui um ventilador para favorecer a passagem de ar externo, para o qual o fluido refrigerante transfere o calor. Por esse motivo, geralmente as máquinas VRF são localizadas próximas às fachadas, em sacadas, ou então próximas a um vão na prumada central.

- Sistema VRF com condensação a água:

É incomum encontrar sistemas VRF com condensação a água. Quando existem, o sistema se assemelha ao caso da CAG, trocando o *chiller* pela unidade condensadora. Ou seja, há um circuito separado de água de condensação, em que as bombas de água de condensação (BACs) na cobertura garantem a circulação da água entre as unidades condensadoras e as torres de resfriamento, onde ocorre a rejeição de calor para o ambiente externo.

A renovação de ar, quando realizada por ventilação mecânica, geralmente ocorre por meio dos ventiladores localizados na cobertura, que insuflam ar externo por dutos que o injetam no pleno próximo às evaporadoras, onde ocorre a mistura com o ar interno. A exaustão mecânica geralmente é feita por exaustores próximos à cobertura que extraem ar pelos banheiros.

III. Selfs

Composto de máquinas *self-contained (selfs)* nas salas de máquinas dos pavimentos, que contêm em si o ciclo completo de refrigeração, incluindo a evaporadora, o compressor e a condensadora. O ar interno retorna pelo pleno para a sala de máquinas, onde é misturado com ar externo introdu-

zido de forma forçada ou passiva, e é então resfriado na evaporadora do *self*. O ar resfriado é então insuflado no ambiente através de dutos que levam aos difusores do tipo cassetes, por exemplo. A difusão no ambiente, bem como o retorno, podem também ser feitas através das luminárias.

A rejeição de calor pode ser realizada por condensação a água ou condensação a ar, e o funcionamento em ambos os casos é semelhante ao descrito para a rejeição de calor dos sistemas VRF. No caso dos sistemas de self, ambos os tipos de condensação são comuns.

IV. Splits

A climatização nesses casos é basicamente realizada por sistemas *split* e *multisplit*, e por unidades de ar condicionado de janela (ACJs) individuais. Raramente há sistema de automação nesses casos, limitando-se, quando há, a programação horária para acionar o sistema de manhã e desligá-lo à noite automaticamente.

3. Levantamentos Estatísticos

BANCO DE DADOS 37

AVALIAÇÕES DE CARACTERÍSTICAS E DESEMPENHO..... 37

BANCO DE DADOS

Por meio do projeto de *benchmarking* energético do CBCS, iniciado em 2013, foi realizado um processo de coleta de dados de consumo energético em edifícios de escritórios corporativos. Os dados foram compartilhados de forma voluntária por integrantes e convidados do Comitê Temático de Energia (CT-Energia) do CBCS. Reuniões regulares do CT-Energia foram utilizadas para aumentar a coleta de dados e identificar edifícios representativos para realizar a segunda etapa do levantamento, que consiste nas visitas *in loco*).

Embora o CBCS tenha levantado dados de mais de 430 escritórios de médio e grande porte, destes apenas 249 podiam ser considerados como escritórios corporativos, pela definição da tipologia. O nível de qualidade dos dados é muito variável, com alguns edifícios levantando apenas área e consumo anual, enquanto outros seguiram o questionário do CBCS e realizaram levantamentos completos, incluindo diversas características prediais.

De todos os escritórios corporativos no banco de dados, quase 75% estava localizado em São Paulo e no Rio de Janeiro, com o resto distribuido entre outras cidades, principalmente Brasília, Florianópolis, Curitiba, Salvador e Porto Alegre.

Um total de 95 edifícios disponibilizou dados para consumo de áreas comuns, 157 edifícios contaram com dados de consumo total (apenas três edifícios tínham consumos medidos de áreas comuns e áreas privativas separadamente).

AVALIAÇÕES DE CARACTERÍSTICAS E DESEMPENHO

O principal indicador de desempenho utilizado é o consumo energético específico (ou simplesmente consumo energético), medido em kWh por metro quadrado por ano. Este indicador foi calculado para todos os prédios. Em alguns casos foi considerado consumo total, e em outros foi considera-

do apenas consumo de áreas comuns. Conforme demonstrado em **FIGURA 1**, há uma grande variação nos consumos dos diferentes edifícios. Nos dados das áreas comuns, 50% dos edifícios mostram consumo entre 58 e 138 kWh/m²/ano, com relação aos consumos totais, 50% apresentam consumo entre 133 e 268 kWh/m²/ano, com mediana de 191 kWh/m²/ano.

Porém, é importante ressaltar que dentro deste banco de dados, há muitos edifícios que apresentam consumos totais abaixo de 100 kWh/m²/ano, o que provavelmente representa distorções nos dados, que podem ter sido causados por edifícios parcialmente ocupados, erros nos dados de consumo ou cálculos de área feitos incluindo estacionamento. Também há uma pequena participação de edifícios com consumos acima de 500 kWh/m²/ano, o que provavelmente representa grandes datacenters ou CPDs dedicados, ou até erros no cálculo de área.

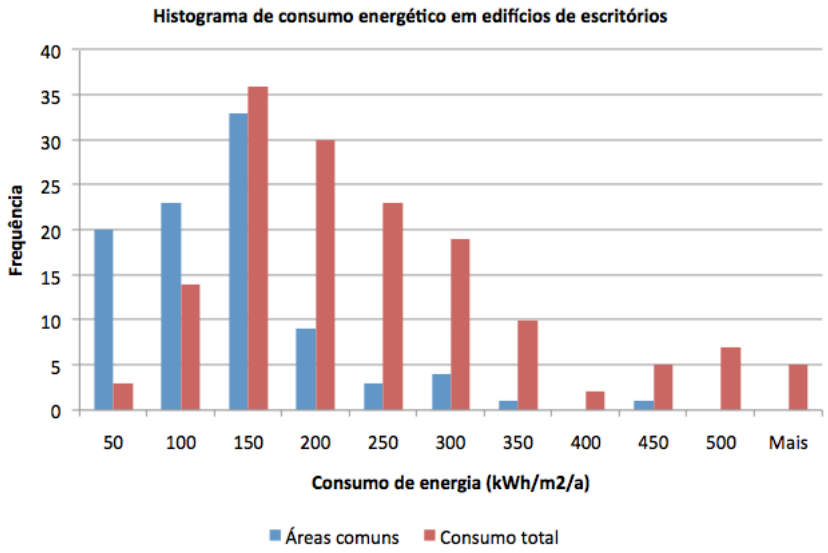


***Figura 1** - Variação do consumo de energia em escritórios corporativos*

Devido a grande variação nas informações fornecidas pelos diferentes proprietários e gerentes dos edifícios, há pouca análise efetiva que pode ser feita utilizando apenas os dados estatísticos.

As informações que foram fornecidas para os edifícios no banco de dados não eram coerentes em todos os casos, mas em muitos incluíam:

- Padrão construtivo do edifício (AAA, AA, A ou B);

- Tipo de sistema de ar condicionado;
- Porcentagem de abertura na fachada;
- Existência de CPD;
- Forma do edifício;
- Ano de construção; e
- Taxa de vacância.

Da amostra de edifícios corporativos mais da metade (140 edifícios) relatou o número de funcionários, que variou de 35 para 13.000 funcionários por edifício. Desta forma, foi possível calcular a densidade de ocupação das edificações. O indicador de densidade de ocupação é calculado em m^2/funcionário. A média da densidade de ocupação foi 14,4 m^2/pessoa, mas este valor foi impactado por um número pequeno de edifícios com densidades muito baixas, chegando a 60 m^2/pessoa, o que provavelmente representa edifícios praticamente desocupados. Sendo assim, é mais interessante observar que a mediana da densidade de ocupação foi de 12,1 m^2/pessoa; este valor já é mais alinhado com valores adotados pelo mercado.

É interessante notar que edifícios multiusuários geralmente contemplam maior densidade de ocupação (ou seja, menos m^2 por pessoa) do que edifícios monousuários.

Foi possível detectar uma correlação entre consumo energético e densidade de ocupação, embora o R^2 esteja baixo (com valor de 0,263). **FIGURA 2** mostra os consumos energéticos e as densidades de ocupação dos edifícios no banco de dados. Foram excluídos do gráfico:

- Edifícios que registraram dados de consumo apenas para as áreas comuns (76 edifícios);

- Edifícios com consumo energético acima de 450 kWh/m²/ano (9 edifícios);

- Edifícios com consumo energético abaixo de 100 kWh/m²/ano (5 edifícios); e

- Edifícios que demonstram baixa densidade de ocupação, com valores acima de 25m²/pessoa (5 edifícios).

De forma geral, é possível constatar que há uma relação entre maior densidade de ocupação e maior consumo energético, mas, novamente, há muitos outros fatores que influenciam no consumo e é necessário um levantamento mais detalhado para poder mensurar esta relação.

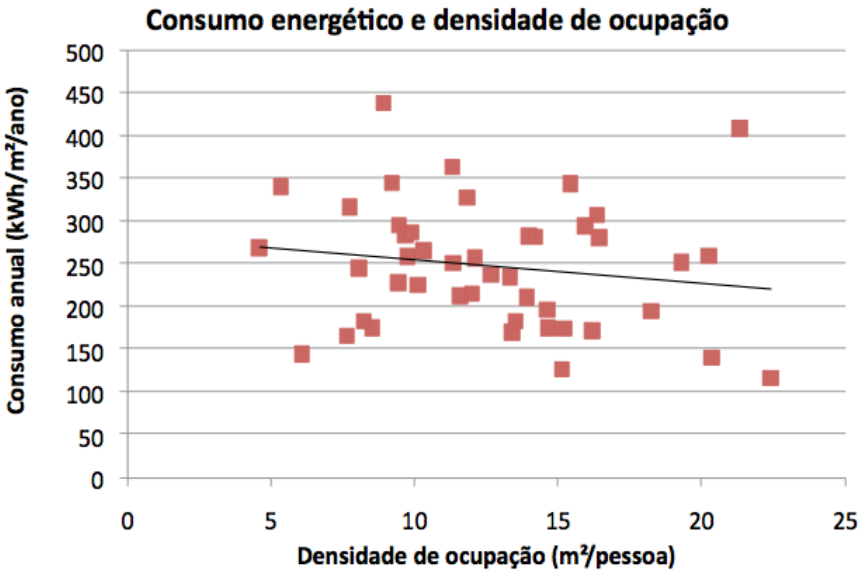


***Figura 2** – Relação entre consumo energético e densidade de ocupação*

A **FIGURA 3** apresenta os tipos de Ar Condicionado de acordo com levantamento do banco de dados, apenas para edifícios corporativos de alto padrão que forneceram esses dados – um universo de 109 edifícios.

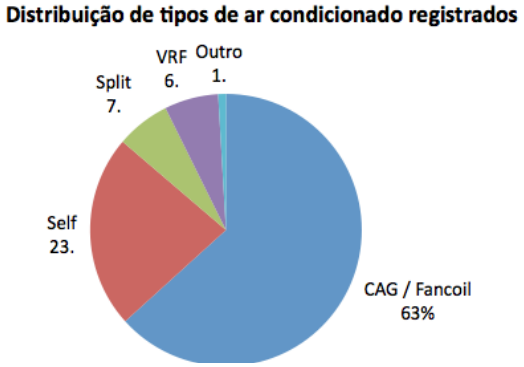


***Figura 3** - Distribuição de sistemas de ar condicionado na amostra de escritórios corporativos*

Esse universo não é representativo o suficiente para se estabelecer um padrão nacional. Além disso, os tipos de ar condicionado têm mudado ao longo dos anos, com maior quantidade de edifícios com VRF tendo sido construídos nos últimos anos. No entanto, nota-se a predominância de centrais a água gelada. Sistemas de *Selfs* são geralmente encontrados em edifícios mais antigos.

A distribuição de consumo energético entre os edifícios com diferentes tipos de ar condicionado não evidencia nenhuma relação direta entre o nível de eficiência do prédio e o tipo de sistema de ar condicionado instalado, conforme **FIGURA 4**.

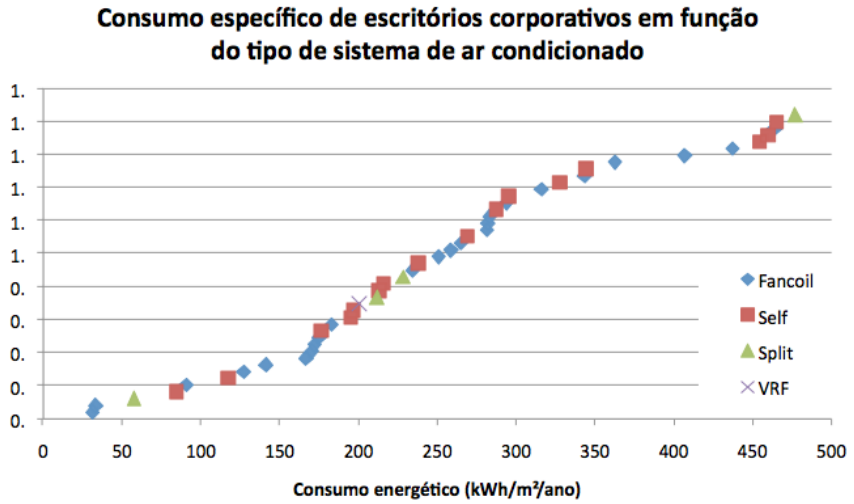


***Figura 4** - Consumo de escritórios corporativos em função do sistema de ar condicionado*

Outras informações fornecidas, não possuem, na amostra, o número necessário para uma análise coerente. As informações destas pequenas amostras necessitam ser complementadas por outras fontes de dados. Porém, é possível identificar algumas características gerais desta tipologia:

- Forma: maioria retangular ou quadrado (> 80%);
- Área Útil: 80% até 30.000 m² (90% até 40.000 m²);
- Área da Laje: 50% até 1.000 m², 80% até 2.000 m²;

- População: 90% até 3.000 pessoas;

- Fachada: 30% pele de vidro, 70% janelas;

- Idade (em 2015): 60% até 20 anos; 95% até 40 anos; e

- Padrão construtivo: há edifícios AAA, AA, A e B.

Avaliando especificamente o tipo de ocupação, de um universo de 249 edifícios corporativos de alto padrão, foram identificados:

- 96 (39%) monousuários;

- 111 (45%) multiusuários; e

- 42 (17%) não informado.

Apesar de indicarem maior quantidade de edifícios multiusuários, há uma quantidade significativa dos dois tipos para justificar uma análise específica a respeito das diferenças entre esses tipos de edifícios.

De forma geral, esta avaliação estatística é importante para inicar o estudo e criar contexto, mas os resultados não são conclusivos. Para chegar em indicadores efetivos de desempenho energético, é necessário realizar levantamentos adicionais, por meio de auditorias energéticas e visitas técnicas.

Figura 5 - *Fotos das fachadas de sete escritórios corporativos (Fonte: Mitsidi Projetos)*

4. Auditorias Energéticas

METODOLOGIA DA AUDITORIA ENERGÉTICA..... 44

DESCRIÇÃO DOS PRÉDIOS 46

DIVISÃO DE CONSUMO POR USO FINAL..... 48

IMPACTO DO CLIMA NO CONSUMO DE AR CONDICIONADO 51

LEVANTAMENTO DE CARACTERÍSTICAS DETALHADAS..... 53

OPORTUNIDADES DE ECONOMIA COM
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA..... 54

O projeto de *benchmarking* incluiu auditorias energéticas de oito edifícios corporativos de alto padrão, totalizando aproximadamente 400.000 m² de área útil auditados. Este capítulo descreve a metodologia adotada para os diagnósticos, a descrição dos prédios visitados, os resultados encontrados e um levantamento das características detalhadas de cada prédio. Os relatórios de auditoria energética desenvolvidos para cada prédio se encontram em anexo.

METODOLOGIA DA AUDITORIA ENERGÉTICA

Para este projeto foi desenvolvida uma metodologia de auditoria energética baseada em referências internacionais (como ASHRAE PCBEA e CIBSE TM22). Porém, a metodologia foi adaptada para criar um maior foco no levantamento de informações detalhadas a respeito do funcionamento das edificações, a fim de possibilitar o desenvolvimento dos *benchmarks*.

As auditorias foram realizadas em cinco etapas.

1) Levantamento prévio de informações básicas

Uma tabela padronizada foi enviada aos responsáveis por todos os edifícios para obtenção de dados preliminares gerais. O preenchimento correto desta tabela foi a condição mínima para participação do edifício no grupo a ser estudado.

2) Levantamento prévio de informações detalhadas

Informações mais detalhadas foram obtidas previamente de cada edifício, tais como faturas de energia elétrica, planilhas de medição e controle, quadros de áreas e de populações, plantas dos pavimentos etc.

3) Visita Técnica

A visita, com duração de um a dois dias por edifício, teve como objetivo co-

nhecer o funcionamento do edifício e levantar todos os fatores que influenciam o seu consumo energético. A visita é composta de duas partes essenciais:

- Conversa com os gestores do edifício para compreender o funcionamento geral do prédio, horários de operação, pessoas e setores responsáveis, desafios enfrentados, alterações recentes, medidas de eficiência implantadas ou estudadas etc.

- Levantamento *in-loco* das cargas energéticas com pessoa responsável pela operação do edifício, colhendo dados como tipos de sistema instalados, potências, horários de operação, medidas de economia instaladas, sensores e sistemas de automação existentes, abrangência da central de controle / BMS, divisão entre áreas comuns e privativas etc.

Na visita, é utilizado formulário padrão desenvolvido para o processopara registrar as informações necessárias, acompanhado com fotos.

4) Cálculo do consumo por uso final

O cálculo é realizado utilizando a Planilha de Consumo por Uso Final da Mitsidi, embasada na metodologia da *CIBSE TM22: 2006d – Energy Assessment and Reporting Method.*

A partir das informações levantadas em campo, a Planilha é utilizada para estimar o consumo de cada sistema, compondo assim o consumo total estimado do edifício. Os cálculos de engenharia realizados contemplam os dados concretos do edifício e um conjunto de metodologias para estimar consumos específicos, tais como as cargas de tomada e os elevadores, que usam as metodologias *CIBSE TM54 - Evaluating Operational Energy Performance of Buildings at the Design Stage, CIBSE Guide F - Energy efficiency in buildings e CIBSE Guide D - Transportation systems in buildings.*

Cada item consumidor de energia é categorizado como sendo das áreas privativas ou das áreas comuns, e alocado em uma das doze categorias de uso final descritas no capítulo 2.

O consumo total estimado é então calibrado através da sua comparação com o consumo real medido e faturado, ponderado por fatores como taxa de ocupação e alterações significativas tais como uma medida de eficiência que pode ter ocorrido entre o período medido e a data do levantamento técnico.

Ao final do processo de calibração, é gerado o gráfico de divisão de consumo por uso final de cada edifício.

5) Elaboração de Relatório de Diagnóstico

Um relatório técnico fotográfico é elaborado para cada edifício, incluindo o contexto geral do edifício, aspectos climáticos e arquitetônicos, descrição das instalações prediais e funcionamento da operação do prédio, consumo histórico de energia e perfil de consumo (quando disponível), *breakdown* de consumos por uso final, comparação com os demais edifícios analisados, identificação de oportunidades para melhoria e medidas de eficiência energética.

DESCRIÇÃO DOS PRÉDIOS

A **TABELA 3** destaca as informações gerais dos oito edifícios visitados no projeto. Pode-se perceber nesses prédios algumas das características e variações descritas no capítulo 2 sobre edifícios corporativos de alto padrão, por exemplo:

- Forma: A maioria dos edifícios são quadrados ou retangulares

- Área Útil: Existe grande variação, entre 11.000 e 102.000 m²

> *A amostra tem área maior que a média nacional, com 50% dos edifícios acima de 40.000 m²*

• Área da Laje: Existe grande variação, entre 960 m² e 3600 m²

> *A amostra tem área de laje maior que a média, com 62,5% dos edifícios acima de 2.000 m²*

• População: Existe grande variação, entre 800 e 6000 ocupantes

> *A amostra tem população maior que a média, com 38% acima de 4000 pessoas*

• Ocupação: 75% dos edifícios são multiusuários e 25% monousuários

• Propriedade: 25% monoproprietário em que o proprietário é a mesma empresa ou grupo que ocupa o edifício; 25% monoproprietário em que o proprietário não ocupa nem administra o edifício; 50% multiproprietário (não ocupantes)

• Gestão: 62,5% terceirização feita por grandes empresas administradoras; 25% administração própria pelo condomínio (multiusuário); 12,5% administração própria pela empresa ocupante (monousuário)

• Ano de Construção: Grande variação, entre 1957 e 2013

> *25% antes de 1990 (mas metade reformado após 2000); 75% a partir de 2000*

Edifício	Edifício 1	Edifício 2	Edifício 3	Edifício 4	Edifício 5	Edifício 6	Edifício 7	Edifício 8
Localização	São Paulo – SP	São Paulo – SP	São Paulo – SP	Rio de Janeiro – RJ	Rio de Janeiro – RJ	São Paulo – SP	São Paulo – SP	Barueri – SP
Data da Visita	Outubro 2014	Outubro 2014	Novembro 2014	Novembro 2014	Novembro 2014	Novembro 2014	Novembro 2014	Dezembro 2014
Ano de Construção	Década de 1980 (estrutura original) / 2009 (edifício)	2003	2001	1986	1957 (reconstrução parcial em 2004 após incêndio)	2000	2013	2011
Formato	Quadrado	Quadrado	Quadrados	Quadrado	Retangular / "L"	Retangular	Triangular arredondado	Quadrado
Pavimentos (acima do Térreo)	28 + 2 mezaninos	16	Variam entre 4 e 6	16 + 3 garagem + 3 pavimentos técnicos	22 edifício inteiro / 11 empresa avaliada	22 + CAG (23) + Heliponto (24)	24	26
Subsolos	2	4	0	1	1	3	5	4
Área Útil (sem estacionamentos)	102.180 m²	31.733 m²	10.996 m² (bloco avaliado) / 76.542 m² (8 blocos)	67.597 m²	22.252 m² (edifício inteiro)	57.797 m²	59.243 m²	49.069 m²
Área Útil Condicionada	102.180 m²	31.733 m³	7.697 m² (bloco avaliado)	49.332 m²	12.325 m² (empresa avaliada + áreas comuns)	44.030 m²	57.801 m²	46.028 m²
Área da Laje (pavimento tipo)	3.600 m²	2.023 m²	1.378 m²	3.296 m²	962 m²	2.045 m²	2.232 m²	1.660 m²
Administrador	Terceirizado	Terceirizado	Terceirizado	Adminstração própria da empresa ocupante	Administração própria do condomínio	Terceirizado	Terceirizado	Administração própria do condomínio
Perfil de Propriedade	Monoproprietário (mesma empresa que ocupa)	Multiproprietário	Multiproprietário	Monoproprietário (mesmo grupo que ocupa)	Multiproprietário	Monoproprietário (não é empresa ocupante)	Monoproprietário (não é empresa ocupante)	Multiproprietário (9 proprietários)

Edifício	Edifício 1	Edifício 2	Edifício 3	Edifício 4	Edifício 5	Edifício 6	Edifício 7	Edifício 8
Perfil de Ocupação	Monousuário	Multilocatário (14 empresas)	Multilocatário	Monousuário	Multilocatário (4 empresas)	Multilocatário	Multilocatário	Multilocatário
Perfil de Uso Principal	Escritório Corporativo / *Data Center*	Escritório Corporativo	Escritório Corporativo / *Data Center*	Escritório Corporativo / *Data Center*	Escritório Corporativo	Escritório Corporativo	Escritório Corporativo	Escritório Corporativo
Perfis de Uso Secundários	Restaurantes e academia	*Data Center* no 7º pavimento	Restaurante	Restaurantes (desativados) e lojas	*Data Center* no 16º pavimento	Lojas comerciais no térreo	Laboratório de exames médicos	-----
População aproximada	6.000	1.540	4.727 (8 blocos)	2.105 (capacidade máxima: 3.500)	800	4.000	2.370	1.260
Taxa de Vacância (na data da visita)	0%	13%	40%	30% (média de 2014)	0%	23%	33%	70% (média de 2014)
Observações	-----	-----	Complexo de 8 edifícios, dos quais um foi o foco do estudo.	-----	Foram avaliados apenas pavimentos do locatário principal e áreas comuns.	-----	-----	Apenas áreas comuns foram avaliadas, pois não há acesso às faturas das áreas privativas.

***Tabela 3** - Características gerais dos edifícios visitados*

DIVISÃO DE CONSUMO POR USO FINAL

A divisão de consumo por uso final dos oito edifícios analisados é apresentada nas figuras a seguir, ora divididos em cinco categorias de uso final para simplificar a visualização, ora em doze categorias para detalhe de informação.

A **FIGURA 6** apresenta uma análise aprofundada, separando cada categoria em Áreas Comuns e Áreas Privativas. O Edifício 8 aparece somente nesse gráfico, pois o consumo de suas Áreas Privativas é faturado separadamente para cada locatário e, portanto, a administradora do edifício não tem acesso a esses dados, possibilitando a análise apenas de suas Áreas Comuns. Já o Edifício 1 aparece com 100% de seu consumo nas Áreas Privativas pois é um edifício monousuário, em que a empresa ocupante é também a proprietária, não possuindo assim áreas comuns.

FIGURA 7 e **FIGURA 8** mostram o consumo por uso final de 7 edifícios, separando o consumo em 5 e 12 usos finais respectivamente.

FIGURA 9 e **FIGURA 10** mostram as faixas de consumo de cada uma das 5 ou 12 categorias de uso final encontradas nos 7 edifícios, indicando também a média de consumo para cada categoria.

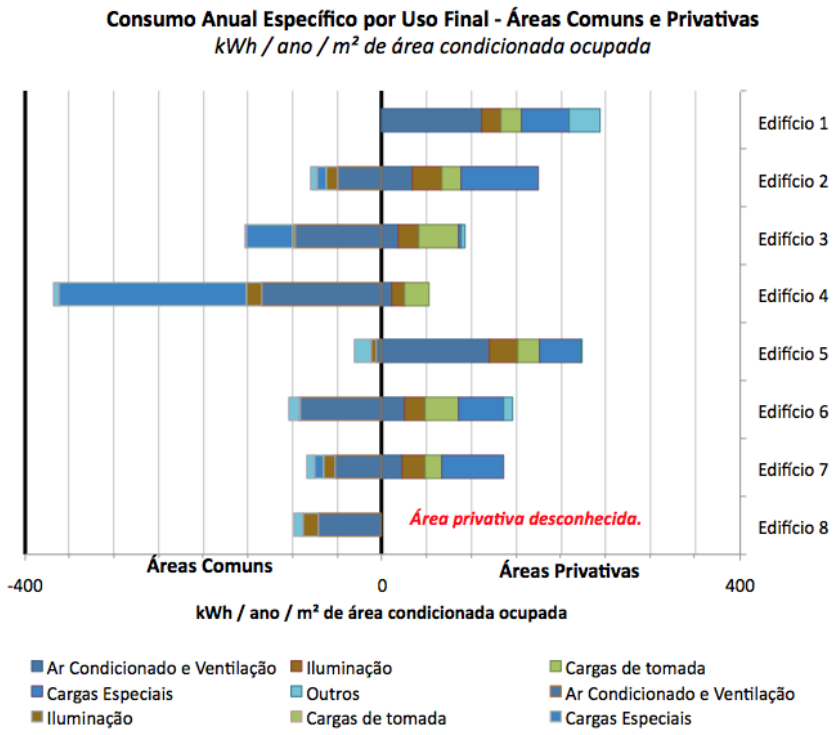


***Figura 6** - Divisão de consumo por uso final em áreas comuns e privativas.*

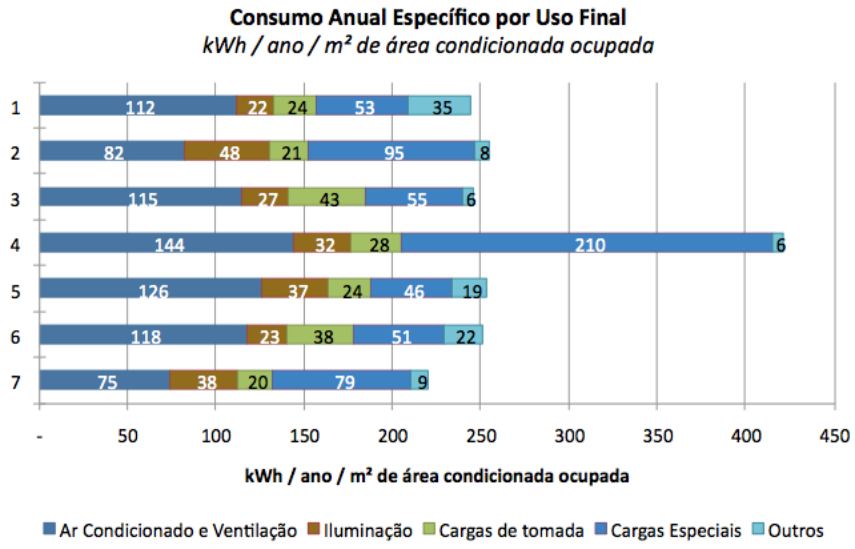


***Figura 7** - Consumo total específico por uso final*

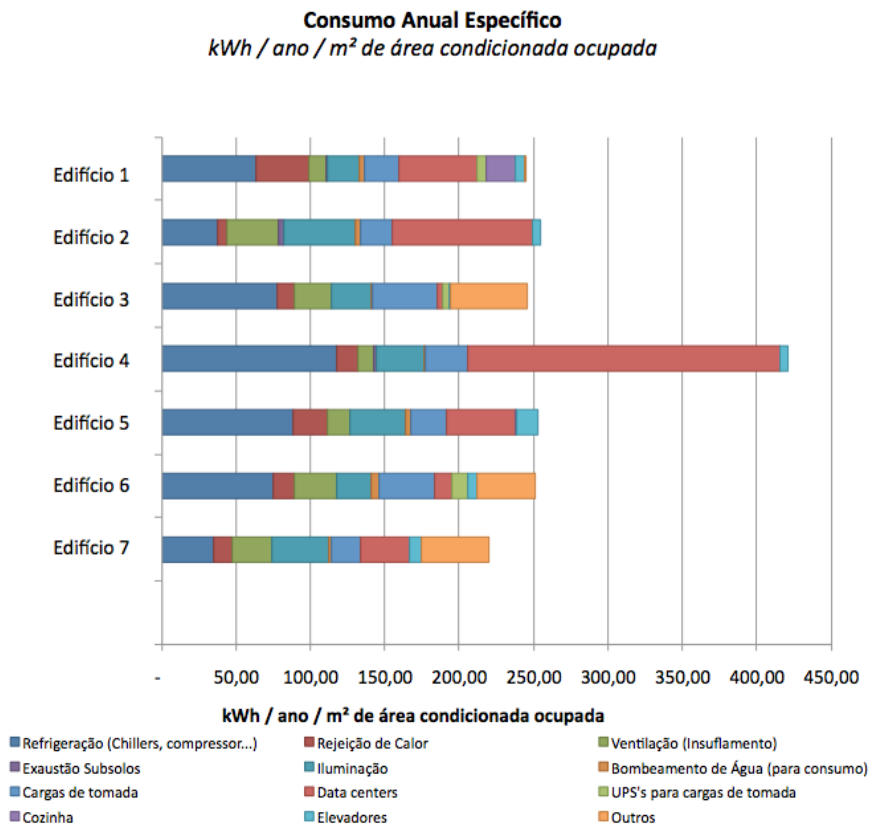


***Figura 8** - Consumo total específico por uso final (12 categorias)*

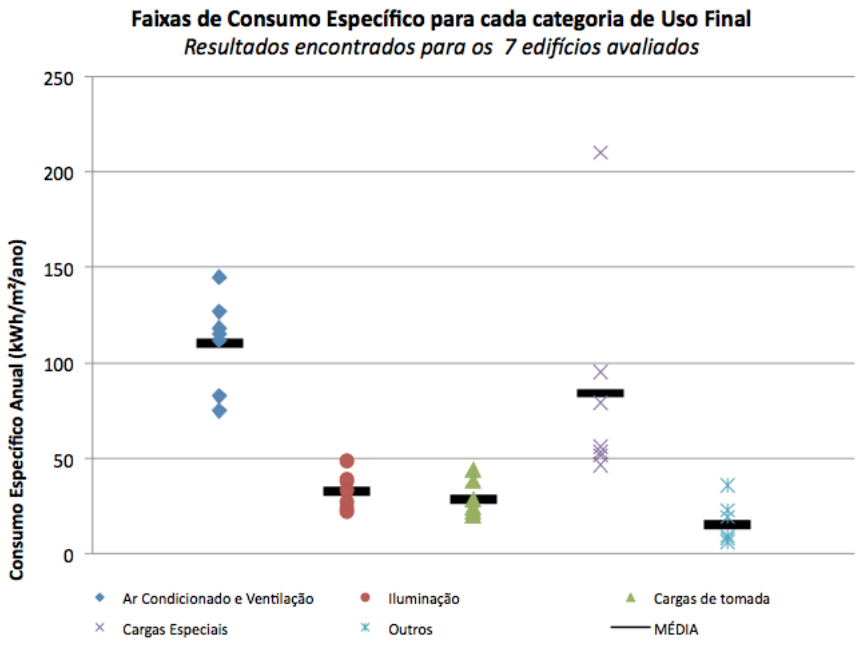


***Figura 9** - Faixas de consumos específicos encontrados para cada uma das 5 categorias de uso final*

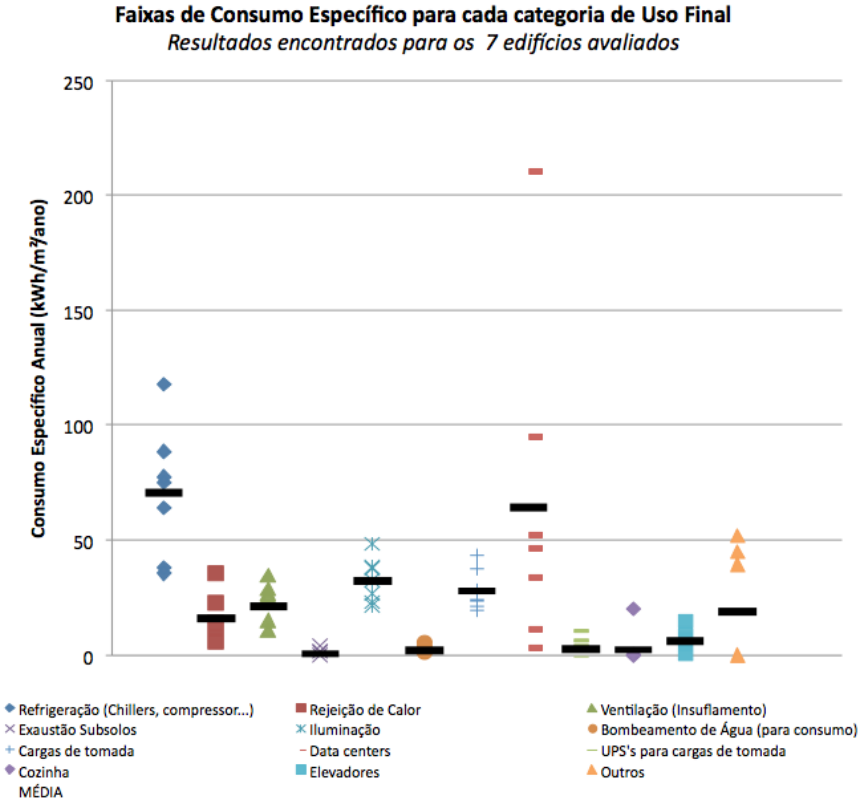


***Figura 10** - Faixas de consumos específicos encontrados para cada uma das 12 categorias de uso final*

IMPACTO DO CLIMA NO CONSUMO DE AR CONDICIONADO

A amostra de oito edifícios é pequena, mas com base nestes dados foi feita uma análise do impacto do clima no consumo de refrigeração dos edifícios, em função de alguns fatores, como as variações sazonais e climáticas.

Dos oito edifícios, seis estão localizados em São Paulo e dois no Rio de Janeiro. A **FIGURA 7** (acima) evidencia que o consumo específico de ar condicionado é maior em ambos os prédios no Rio de Janeiro do que nos prédios localizados em São Paulo, indicando impacto do clima sobre o consumo do edifício, já que as temperaturas médias no RJ são mais elevadas que as de SP. A **FIGURA 11**, abaixo, demonstra claramente essa situação:

- Refrigeração (compressores e BAGs) – Comparação dos edifícios no RJ (4 e 5) com a média dos edifícios 1, 2, 3, 6 e 7 em São Paulo.

• Rejeição de Calor (torres de resfriamento e BACs) - Comparação dos edifícios no RJ (4 e 5) com a média dos edifícios 2, 3, 6 e 7 em São Paulo. O edifício 1 foi excluído pois representa uma anomalia nesse quesito, já que seu sistema de rejeição de calor é o único que não é desligado à noite.

• Ar Condicionado Total (soma da Refrigeração, Rejeição de Calor e Ventilação) - Comparação dos edifícios no RJ com a média dos edifícios 1, 2, 3, 6 e 7 em São Paulo.

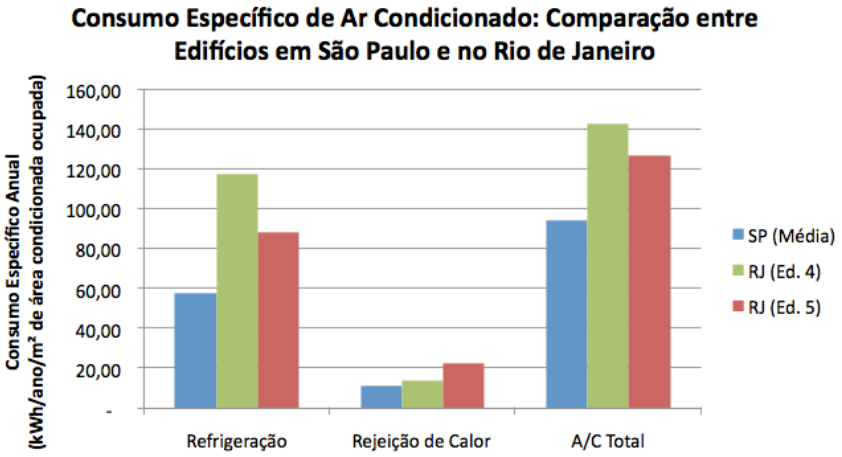


***Figura 11** - Comparação do consumo específico de ar condicionado*

Todos os edifícios analisados demonstram variações significativas no consumo entre os meses de verão e de inverno. A **TABELA 4** apresenta essa variação para cada edifício, expressa como um percentual do consumo do período de inverno.

Os dados de consumo para cada prédio foram tirados do mês de maior consumo no período quente (janeiro a março) e do mês de menor consumo no período frio (junho a agosto). Quanto maior o percentual, maior a influência da sazonalidade no consumo do edifício. Fatores externos ao clima que também podem ter afetado os resultados, foram descritos na coluna de observações.

Levando em consideração as observações, pode-se estimar a partir dos dados levantados, que os edifícios em São Paulo têm aumento de 19 a

25% de consumo no verão. No Rio, não há dados suficientes para fazer nenhuma afirmação.

Edifício	Local	Sistema de Ar Condicionado	Aumento do consumo do edifício do inverno para o verão (%)	Observações
7	SP	CAG	8%	Dado não confiável. O edifício somente atingiu sua ocupação padrão em março.
6	SP	CAG	19%	
3	SP	CAG (district cooling)	25%	
2	SP	CAG	26%	Valor exagerado devido a fatores externos ao clima (redução da ocupação entre verão e inverno).
4	RJ	CAG	29%	Valor reduzido em relação ao outro edifício do RJ devido à presença massiva de *brise-soleils*. O CPD foi excluído dos cálculos.
1	SP	VRF água	33%	Dado não confiável. Valor exagerado devido à implantação de medidas de EE entre verão e inverno que contribuíram para a redução do consumo.
5 (Priv)	RJ	*Selfs*	34%	
5 (Comum)	RJ	*Splits*	34%	

***Tabela 4** - Variação sazonal de consumo de ar condicionado*

Estes resultados são importantes, mas a amostra não é suficiente para tirar conclusões coerentes sobre consumo de edificações. Desta forma, é necessário que os levantamentos sejam complementados por simulação energética para criar indicadores sólidos.

LEVANTAMENTO DE CARACTERÍSTICAS DETALHADAS

Para a preparação de modelos de simulação é necessário que sejam levantadas muitas características detalhadas das edificações, além dos dados geralmente recolhidos durante uma auditoria. A Tabela 5 resume os principais fatores levantados durante as visitas e utilizados como dados de entrada para o início do desenvolvimento dos modelos de simulação. Algumas características são observadas, outras precisam ser calculadas individualmente para cada edifício.

Estas informações servem para aprofundar o entendimento das características típicas da tipologia.

Categoria	Variável	Unidade
Edifício	Área total do pavimento	m²
Edifício	Área útil (privativa)	% da área total
Edifício	Pavimentos	#
Edifício	Subsolo/estacionamento	#
Edifício	Área útil	m²
Edifício	Área condicionada ocupada	m²
Edifício	Sombreamento	Altura dos edifícios
Envoltória	PAF	%
Envoltória	Fator solar dos vidros	FS
Envoltória	Proteção solar	Descrição
Envoltória	Paredes	Descrição dos materiais
Envoltória	U_paredes	W/(m².K)
Envoltória	Cobertura	Descrição dos materiais
Envoltória	U_cobertura	W/(m²K)
Iluminação	DPL (Densidade de potência luminosa)	W/m²
Iluminação	Tipo	Descrição
Iluminação	Fator de controle	%
Iluminação	Iluminação noturna	%
Iluminação	Nível de iluminação	Lux
Iluminação	Iluminação estacionamento	W/m²
Iluminação	Fator de controle: estacionamento	%
Ocupação	Densidade ocupacional	m²/pessoa
Ocupação	Consumo das estações de trabalho	W/m²
Ocupação	Equipamentos adicionais (impressora, etc)	W/m²
Ocupação	Consumo "standby" (fora de ocupação)	%
Ocupação	Diária	hr/dia
Ocupação	Semanal	Dias/semana
Ocupação	Anual	# de feriados por ano
Equipamentos	*No-breaks*	W/m²
Equipamentos	Servidores	W/m²
Equipamentos	Densidade de potência instalada total	W/m²
Equipamentos	Elevadores	#
Equipamentos	Elevadores	kWh/ano
Equipamentos	Bombas de água (não AVAC)	kWh/ano
AVAC	Tipo	Descrição
AVAC	COP (*chiller*/compressor)	W/W
AVAC	Distribuição de água gelada	Vazão constante ou variável
AVAC	Distribuição de ar	Vazão constante ou variável
AVAC	Condensação	Ar/água
AVAC	Área condicionada	%
AVAC	Ar externo	m³/h/pessoa
AVAC	*Setpoint* de resfriamento	Temperatura, °C
AVAC	Economizador/trocador de calor	Sim/Não
AVAC	Aquecimento de água	Sim/Não
AVAC	Aquecimento do espaço	Sim/Não
AVAC	Exaustão estacionamento	W/m²
AVAC	Potência instalada de fancoils (ventilação) no andar tipo	W/m² (área de pavimento tipo)
AVAC	Potência elétrica do *chiller*/resfriamento	W/m² (área condicionada total)
AVAC	Potência de resfriamento de *chiller*/compressor	m²/TR
AVAC	Potência das bombas de água para CAG (primária + secundária)	W/m² (área condicionada total)
AVAC	Potência das bombas de água para torres	W/m² (área condicionada total)
AVAC	Consumo de energia para rejeição de calor	kWh/m²/ano (área condicionada ocupada)
Elevadores	Número de andares (do térreo para cima, excl andares técncicos acima dos pavimentos típos)	#
Elevadores	Número de elevadores (excluindo elevadores que atendem apenas ao subsolo)	#
Elevadores	Potência (média ponderada por uso)	kW
Elevadores	Tempo de subida (média ponderada)	S
Elevadores	Consumo total calculado	kWh/(m²a)
Elevadores	Consumo para subir um andar	Wh/andar
Elevadores	Consumo total por andar por elevador (calculado)	kWh/andar/ano/elevador
Elevadores	Consumo total por andar por elevador (TM22)	kWh/andar/ano/elevador
Bombas	Consumo total	kWh/m²a
Bombas	Consumo por andar	kWh/m²/andar

***Tabela 5** - Levantamentos detalhados em edifícios*

OPORTUNIDADES DE ECONOMIA COM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Em todos os edifícios analisados, foram encontradas oportunidades de economia e foram feitas sugestões de melhoria.

A eficiência de edificações em uso é uma área com grande potencial para melhoria e para redução de consumo energético e gasto operacional. Durante o levantamento realizado em cada um dos edifícios analisados, foram identificadas diversas áreas que apresentam potencial de melhoria de desempenho, e apontadas ações a serem tomadas para que esses potenciais sejam atingidos. Não são apresentados cálculos detalhados de economia, *payback*, custo de instalação ou projeto detalhado, uma vez que seriam necessários estudos mais detalhados nas áreas indicadas para validar as conclusões dos relatórios e iniciar a implantação das melhorias.

As medidas de eficiência podem ser classificadas de acordo com seu custo de implantação, sendo consideradas como de zero ou baixo custo aquelas que exigem apenas mudanças de operação e manutenção; as de médio custo são aquelas que requerem instalação de sistemas, como controles e variadores de frequência; e as de alto custo, são as que exigem investimentos para troca de grandes equipamentos (o que, em geral, se justifica apenas ao final da vida útil do equipamento).

Foi recomendado aos gestores dos edifícios que é essencial haver uma pessoa designada como Gerente de Energia que será responsável pela implantação das melhorias abaixo, pois a concretização das ações requer um líder com conhecimento em todos os pontos e com uma visão global e dedicada, que seja capaz de dirigir, orientar e coordenar o processo do início ao fim.

5. Simulação Energética

METODOLOGIA DA SIMULAÇÃO 57

IMPACTO DO CLIMA 60

SISTEMA DE AR CONDICIONADO 64

BOMBAS E VENTILADORES 67

SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO 68

CARGAS DE TOMADAS 69

METODOLOGIA DA SIMULAÇÃO

Após os levantamentos estatísticos e as auditorias energéticas, a etapa final para o desenvolvimento de um *benchmark* de consumo energético, em conformidade com a metodologia do CBCS, é a simulação computacional termo-energética.

A simulação permite que muitas variações sejam estudadas rapidamente, possibilitando o desenvolvimento de cenários e a avaliação dos impactos de alterações ou diferenças nos perfis de consumo energético.

Conforme a metodologia do CBCS (Borgstein 2014), o modelo energético é criado com base nas características técnicas e de operação das edificações reais estudadas. Um modelo "paramétrico" é gerado, para ser representativo do desempenho médio encontrado no estoque. O modelo é alimentado com as características típicas do estoque.

Uma vez que os resultados iniciais do modelo "típico" estão calibrados para representar os edifícios estudados, as variações em importantes características são estudadas no modelo e o impacto de cada variável no consumo energético pode ser isolado. Para se fazer isso com uma metodologia unicamente estatística e sem simulação, seria necessário um banco de dados muito grande e com muitas informações referentes a cada edifício.

Para este estudo, foram utilizados os softwares *DesignBuilder* v4.2 e *EnergyPlus* v8.2. A simulação termo-energética é utilizada para calcular principalmente as cargas referentes ao ar condicionado e iluminação, com estimativas das cargas de tomada. Para os consumos finais identificados nas auditorias energéticas, a **TABELA 6** mostra a metodologia de cálculo adotada em cada caso. Os outros consumos finais são mais adequadamente identificados com cálculos adicionais de engenharia do que diretamente dentro da simulação. De forma geral, consumos pontuais (aqueles que ocorrem em um local no prédio) são estimados por cálculos de engenharia e consumos distribuídos (que ocorrem em todos os andares do prédio) são calculados através da simulação.

Inicialmente, foi desenvolvido um modelo completo, representando o edifício inteiro. Porém, devido ao seu tamanho, este modelo exige um grande poder de processamento de dados, o que limita a quantidade de estudos que podem ser realizados. Desta forma, também foi desenvolvido um modelo de um pavimento tipo, conforme **FIGURA 12**. Os resultados da validação desta metodologia são mostrados na **FIGURA 13**, sendo que o modelo do pavimento tipo demonstra variação de menos de 1% com relação ao modelo do prédio inteiro. Desta forma, a metodologia do pavimento tipo foi adotada para a continuação do estudo, sendo um modelo mais leve sem perda de precisão.

Os consumos energéticos mostrados neste capítulo geralmente referem-se aos consumos totalizados dos primeiro cinco itens na **TABELA 6** (que entram na simulação energética) – iluminação, cargas de tomada e AVAC. Como estes consumos representam aproximadamente 50% do consumo total (esta fração varia muito conforme o edifício), os valores de consumo mostrados nos gráficos neste capítulo são inferiores aos valores levantados nos capítulos 3 e 4, e geralmente variam entre 120 – 160 kWh/m²/ano. Os consumos adicionais são tratados em capítulo 6.

Consumo final	Consumo possível (kWh/m²/ano)	Cálculos de consumo
Refrigeração (***Chillers***, compressores)	60-100	Simulação termo-energética
Rejeição de Calor	10-15	
Ventilação (Insuflamento)	9-20	
Cargas de tomada e UPS	20-45	
Iluminação	30-40	
Estacionamento (Subsolos)	0-15	Cálculos de engenharia
Bombeamento de Água (potável)	1-3	
Data centers	0-200	
Cozinha	0-25	
Elevadores	4-14	
Outros usos especiais	0-50	

Tabela 6 - *Separação de usos finais por metodologia de cálculo*

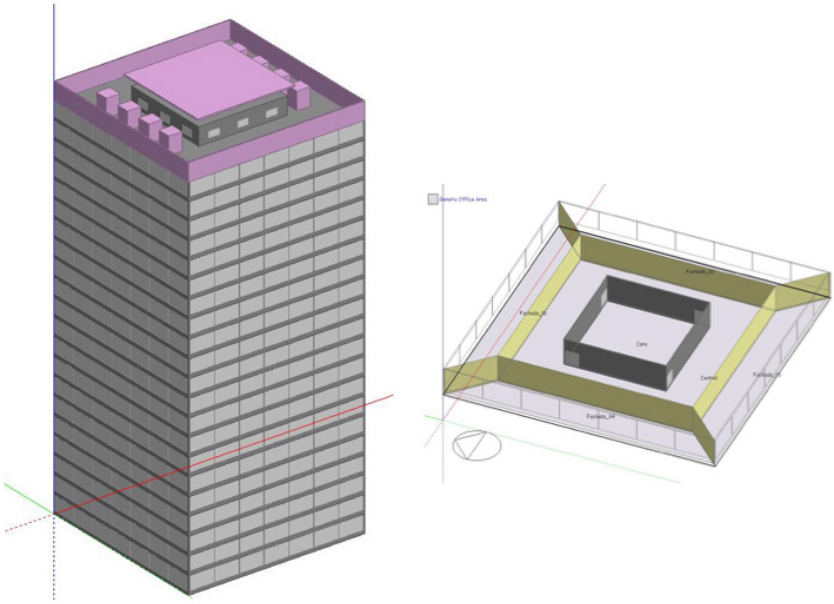


Figura 12 - Visualiações do modelo de simulação do prédio inteiro (esquerda) e do pavimento tipo (direta)

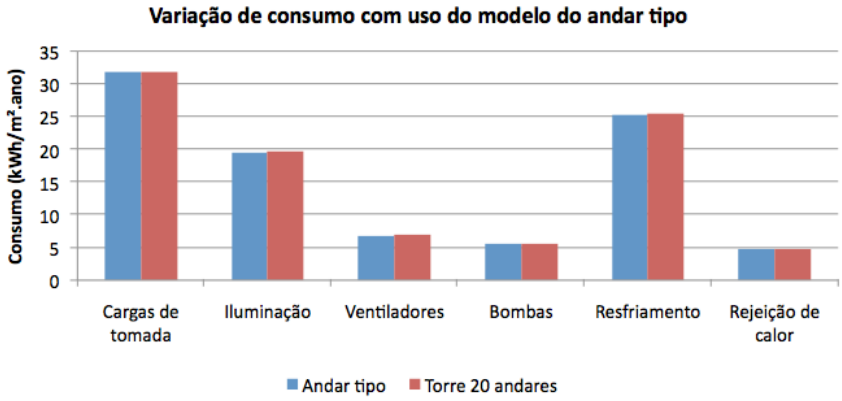


Figura 13 - Comparação do modelo do prédio inteiro com o pavimento tipo

Os consumos dos usos finais de energia no modelo paramétrico foram comparados e calibrados para os valores encontrados nas auditorias energéticas para o consumo de cada uso final, e o consumo total foi comparado com os consumos totais no banco de dados estatístico. Ou seja, o modelo foi desenvolvido para "explicar" os consumos das diversas áreas.

A simulação energética funciona com uso de um modelo da edificação em conjunto com um arquivo climático. A variação climática é tratada com a utilização de diferentes dados climáticos para as diversas cidades do Brasil.

É importante notar que uma funcionalidade de *EnergyPlus* chamada Autosize foi utilizada em alguns casos, para realizar o dimensionamento de

sistemas de AVAC de acordo com as práticas de engenharia mecânica. Em alguns casos, isso gerou resultados muito distantes da realidade encontrada nas visitas (por exemplo, nas potências de bombas de água gelada). Nestes casos, valores dos levantamentos das auditorias energéticas foram inseridos diretamente nos modelos.

Uma vez calibrado, este modelo paramétrico é utilizado para realizar estudos de sensibilidade e testar cenários, a fim de identificar os impactos reais destes fatores no consumo energético.

IMPACTO DO CLIMA

Para realizar comparações diretas entre diferentes cidades do Brasil, com diferentes climas, é necessário entender os impactos desta variação para poder realizar correções climáticas.

Para o desenvolvimento de *benchmarks* para agências bancárias (Borgstein 2014), a metodologia de graus-horas de resfriamento (GHR) foi adotada, e foi escolhido o uso de grau-horas com temperatura base de 15 graus, bulbo úmido.

Porém, no caso de escritórios corporativos, é necessário também considerar diversos outros fatores que impactam no consumo energético, principalmente pelo nível de interação que há entre a fachada do edifício e o clima externo.

Desta forma, foram estudadas as relações entre consumo energético e as seguintes variáveis chaves de consumo energético:

- GHR;
- Irradiação solar;
- Eficiência da fachada; e

• Tamanho da laje.

FIGURA 14 mostra uma relação clara entre grau-horas de resfriamento e consumo energético para quatro modelos, que representam diferentes níveis de eficiência da fachada e proteção solar. É importante notar que, enquanto a proteção solar e eficiência da fachada têm impactos importantes nos consumos energéticos finais, as linhas de regressão para estes modelos são praticamente paralelas; ou seja, a variação entre o nível de interferência do clima nas diferentes situações pode ser considerada desprezível. Em outras palavras, o uso de grau-horas de resfriamento explica praticamente toda a variação de consumo devido à mudança de clima.

A **FIGURA 15** realiza uma comparação entre o consumo energético e a irradiação solar direta, medida em MWh/m²/ano, considerando o total de insolação incidente no plano horizontal ao longo do ano no determinado local. Se a causa dominante de variação no consumo energético fosse a irradiação solar, esperaria-se ver uma correlação muito mais clara neste gráfico. Na realidade, há uma correlação, mas claramente este dado não explica toda a variação climática.

A **FIGURA 16** investiga a variação de consumo energético com a porcentagem de abertura da fachada (PAF) em duas situações (vidro eficiente e vidro comum), dentro de dois climas distintos, (São Paulo e Rio de Janeiro). É identificada uma relação expresiva entre consumo e PAF, sendo que a relação é bem maior no caso da fachada ineficiente. Outra análise que podemos fazer com essa figura é que, como as linhas de cada uma das diferentes cidades estão paralelas, podemos concluir que este impacto é parecido em diferentes climas.

A **FIGURA 17** investiga a correlação entre eficiência energética e o tamanho da laje, para lajes de 1.260m² a 3.540m², intervalo correspondente à variação majoritariamente esperada na tipologia. Em um edifício sem nenhuma proteção solar, esta variação pode chegar até 11,6% do consumo total, como era de se esperar, sempre o edifício com maior área de laje

sendo o mais eficiente; porém, uma fachada com alguns conceitos básicos de eficiência já reduz esta variação para 5%, sendo este fator considerado pequeno quando o comparamos a outros fatores de variação.

Finalmente, a **FIGURA 18** recalcula, através da simulação, as informações da **FIGURA 14** para dez grandes cidades (Manaus, Salvador, Fortaleza, Brasília, Belo Horizonte, Recife, Curitiba, Rio de Janeiro, Porto Alegre e São Paulo) com variação da porcentagem de abertura na fachada, demonstrando claramente que o impacto da variação climática é adequadamente descrito pelo uso de GHR, e que dentro desta amostra uma redução no PAF tem um impacto parecido no consumo, independentemente do clima em que se encontra o edifício.

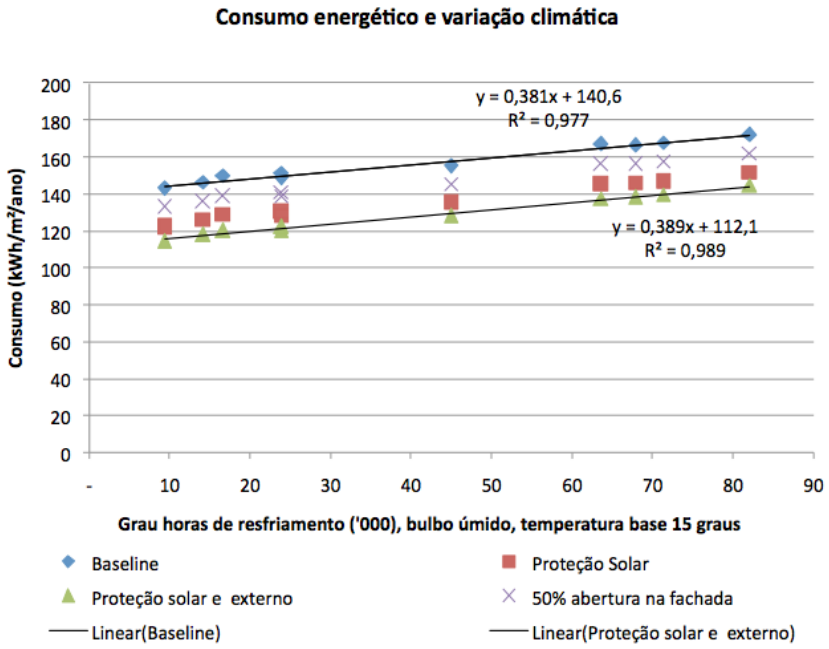


***Figura 14** - Graus-hora de resfriamento e consumo energético com diferentes modelos e níveis de proteção solar, considerando 10 cidades no Brasil*

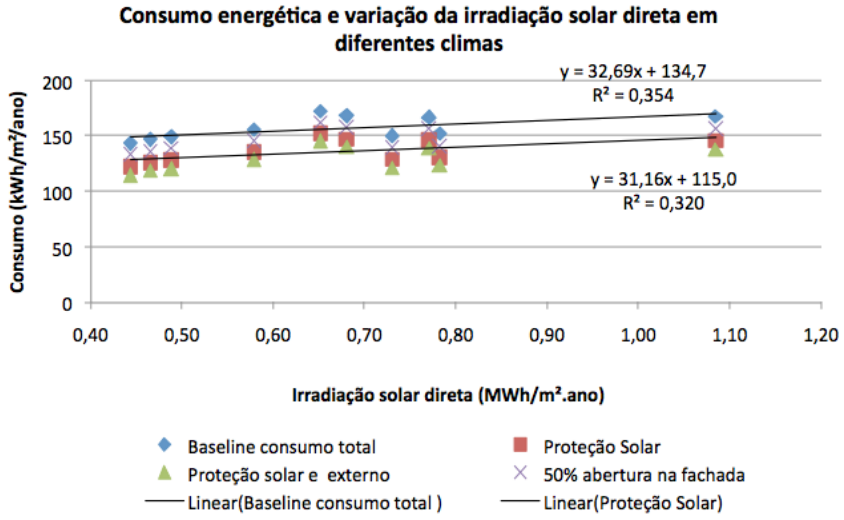


***Figura 15** - Impacto de irradiação solar no consumo energético, consideradndo 10 cidades no Brasil*

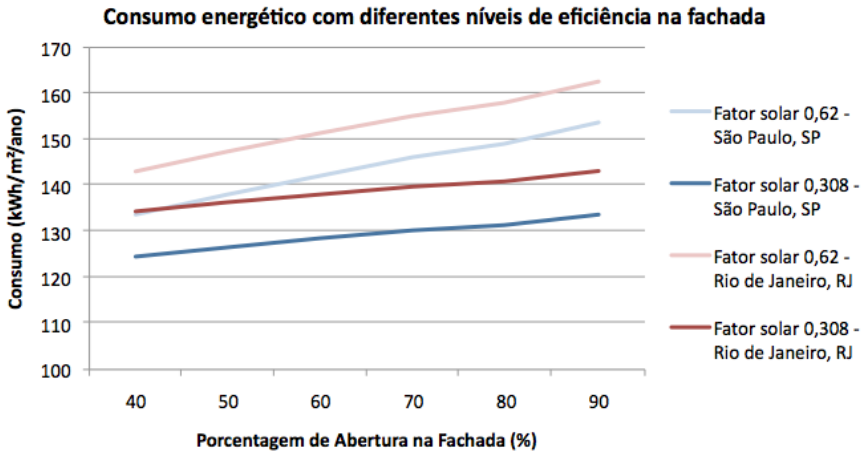


***Figura 16** - Eficiência da fachada e consumo energético*

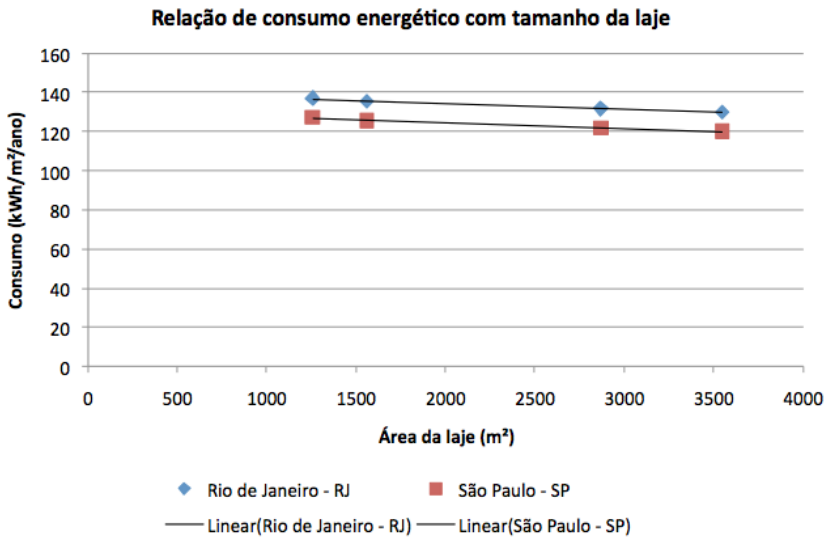


***Figura 17** - Tamanho da laje e consumo energético, considerando o modelo de linha de base (70% PAF, fator solar 0,62)*

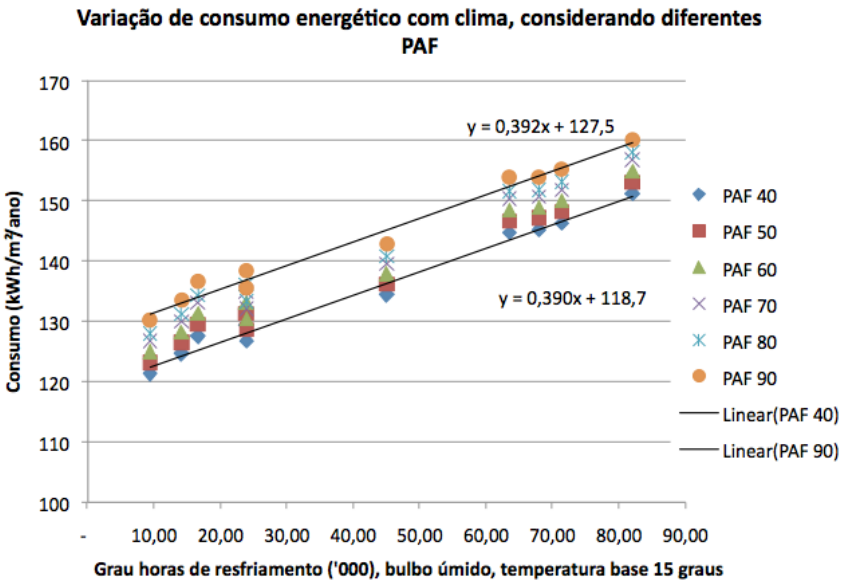


***Figura 18** - Variação de consumo energético com clima para diferentes níveis de abertura na fachada (PAF)*

SISTEMA DE AR CONDICIONADO

De acordo com as informações dos capítulos 3 e 4, o modelo de simulação paramétrico do ar condicionado foi realizado considerando-se um sistema com uma central a água gelada e *fancoils*, por estes sistemas serem os mais representativos dentro da tipologia.

Há alguns fatores importantes que precisam ser contemplados dentro do projeto do sistema de ar condicionado, e a questão inicial é sempre sobre qual tipo de sistema de ar condicionado deve ser escolhido.

Conforme a **FIGURA 3**, 36% da amostra de escritórios corporativos conta com sistemas de ar condicionado *Split*, VRF ou *Self*. Dentro dos oito edifícios avaliados nas auditorias energéticas, foram encontrados cinco CAGs, dois sistemas de VRF e um sistema de *Self*. Há uma tendência no mercado para aumento de utilização de VRFs em novas edificações.

Por este motivo, foi necessário adotar uma metodologia mais teórica com relação ao consumo de energia para resfriamento. De forma geral, todo sistema de ar condicionado precisa de energia para as seguintes funções:

- Resfriamento (geralmente num compressor com ciclo de resfriamento);
- Rejeitar o calor gerado no processo de geração de frio;

- Transferir o frio para o ambiente; e

- Ventilar o ambiente, renovando o ar e transferindo calor internamente.

Como o ciclo de resfriamento é essencialmente igual na maioria dos casos, a energia teórica necessária é igual, independente da tecnologia de resfriamento utilizada (seja *chiller* central ou unidades de expansão direta). O COP do equipamento é impactado principalmente pela necessidade (ou não) de incluir outros aspectos deste consumo no cálculo do COP. Por exemplo, um *Self* ou VRF em geral têm um COP inferior a um *chiller* central, mas nesse tipo de equipamentos não há necessidade de se bombear água gelada pelo prédio.

Tanto as auditorias energéticas, quanto a **FIGURA 4** (que mostra a eficiência dos diferentes sistemas de ar condicionado na amostra estatística), indicam que, diferentemente do que muitos imaginam o tipo de sistema de ar condicionado não é o principal indicador de eficiência. As simulações energéticas com diferentes sistemas de CAG, *Self* e *Split* confirmam esta hipótese – as características e variações dentro de um tipo de tecnologia (por exemplo, CAG) são muito maiores do que as variações entre diferentes tecnologias.

Alguns fatores geram diferenças expressivas no consumo energético, e o primeiro deles é a utilização de condensação a água (com torres de resfriamento), comparado com a condensação a ar. Pela natureza dos sistemas, pela temperatura de troca de calor e pela energia necessária para transferir calor ao ambiente externo, os sistemas com condensação a água atingem um nível de eficiência bem maior. Porém, isso implica em um consumo importante de água pelo sistema, o que não pode ser desconsiderado numa avaliação global. A **FIGURA 19** mostra os resultados de simulações de consumo energético e consumo de água nas diversas zonas bioclimáticas do Brasil (considerando oito cidades), para três diferentes modelos de *chiller*. Os dois chillers a água representam "boa prática" (COP = 5,6) e um nível típico para edifícios existentes (COP = 4,8). Já o *chiller* a

ar representa boa prática de eficiência em novos *chillers* a ar. Os consumos mostrados incluem todo o sistema de AVAC: bombeamento, rejeição de calor, ventiladores e torres de resfriamento. Desta forma, a diferença de eficiência entre os dois tipos de sistema está claramente mostrada. Porém, há também um consumo importante de água pelos sistemas com condensação a água, sendo entre 0,4 e 0,75 m^3/m^2/ano. (O consumo de água varia com os GHR, mas de forma menos linear). Não é possível comparar diretamente o impacto ambiental de um litro de água com um kWh de energia. De qualquer forma, as importâncias vão variar bastante com a localização do projeto, por isso, estes dois tipos de sistema não devem ser comparados diretamente.

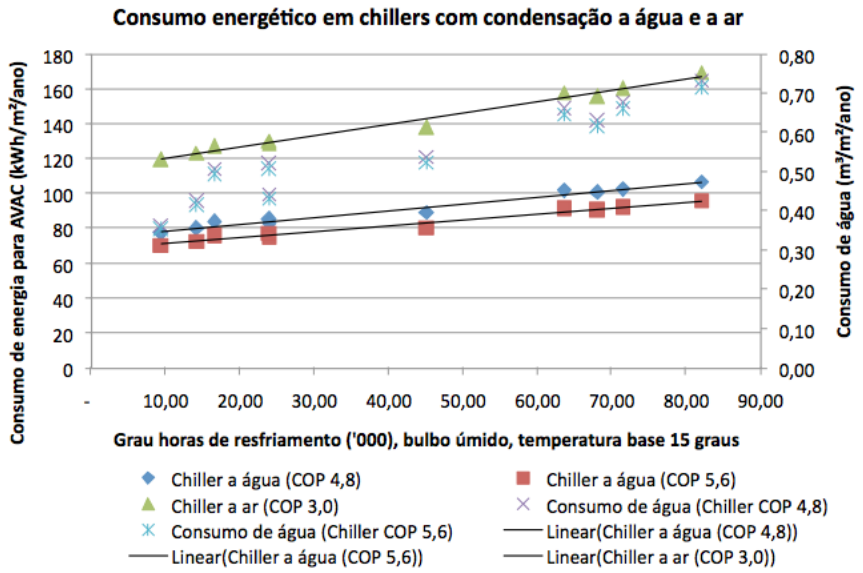


***Figura 19** - Consumo energético e consumo de água em CAGs com diferentes chillers*

Outros fatores relevantes no consumo de ar condicionado incluem o setpoint de operação, definido pelos usuários – uma alteração de um grau (de 22,5 para 23,5°C) reduz o consumo energético do sistema de AVAC em 8%, de acordo com as simulações do modelo paramétrico.

Uma variação importante encontrada nas auditorias energéticas que não é contemplada nas simulações é o consumo energético das torres de resfriamento ou outros sistemas de rejeição de calor que são utilizados para os sistemas de resfriamento dos CPDs.

Finalmente, os fatores climáticos (considerados acima) e as cargas internas (consideradas abaixo) influenciam nos consumos dos sistemas de ar condicionado.

BOMBAS E VENTILADORES

Bombas e ventiladores utilizam energia para movimentar fluidos. O consumo é definido pela eficiência da bomba ou ventilador, eficiência do motor, pressão a ser vencida pelo flúido e o perfil de operação.

As principais variações entre os diferentes sistemas vêm da estratégia de controle, tendo ou não variadores de frequência. Alguns sistemas têm consumos muito maiores por não terem desligamento parcial, sobre tudo para operação noturna ou em horários de baixa carga. Além disso, a própria pressão dos sistemas também gera grandes variações de eficiência.

Considerando *fancoils* como sistema exemplar, foram considerados sistemas com um ou dois ventiladores, com pressões variando de 450 – 1200 Pa e com controle VAV (volume de ar variável) ou VAC (volume de ar constante). A **FIGURA 20** mostra os consumos energéticos dos ventiladores nestas situações, a pressão total é a soma da pressão de ambos os ventiladores quando é utilizado um segundo ventilador (de retorno) no *fancoil*. Fica claro que o maior fator que impacta no consumo energético neste caso é a presença (ou ausência) de um sistema adequado de volume variável. Cabe lembrar que esta simulação supõe que o sistema VAV esteja operando conforme parâmetros de projeto, o que nem sempre é o caso em exemplos reais.

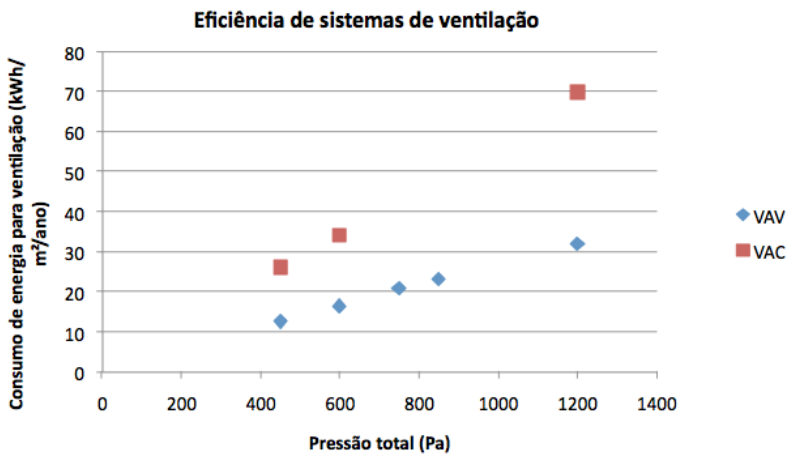


***Figura 20** - Consumos de energia e eficiência de sistemas de ventilação*

Os impactos de variação de pressão e eficiência energética em bombas de água gelada podem ser estudados da mesma forma. Ou seja, o consumo energético de bombas é diretamente proporcional à pressão a ser vendida no sistema de bombeamento.

De forma geral, os valores de potência instalada, potência medida e (quando disponíveis) os valores de queda de pressão dos projetos de ar condicionado nos edifícios visitados foram levantados para formar a base de cálculo de pressão e potência para o modelo paramétrico (conforme mostrado em **TABELA 5**).

SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

Os sistemas de iluminação em escritórios corporativos são impactados pela potência instalada (DPI, ou densidade de potência de iluminação, em W/m²), e pelo nível de automação do sistema.

Na prática, a principal oportunidade para automação é com a instalação de sensores em todo o prédio e lâmpadas dimerizáveis nas fachadas, para aproveitar a luz natural próxima às janelas. Há um potencial para automação de desligamento de lâmpadas em corredores e banheiros com sensores de ocupação, mas a variação que isso representa (ao nível da edificação inteira) é pequena. O modelo já pressupõe um desligamento de toda a iluminação fora dos horários de ocupação.

Para mostrar os impactos destas variações, o consumo energético com quatro estratégias de iluminação é mostrado em **FIGURA 21**. Claramente,

a variação do DPI é o fator mais importante, mas a utilização de dimerização nas fachadas traz um grande potencial de melhoria.

Há outras estratégias de eficiência possíveis, mas geralmente dependem de condições específicas de utilização ou têm pouco impacto global na edificação.

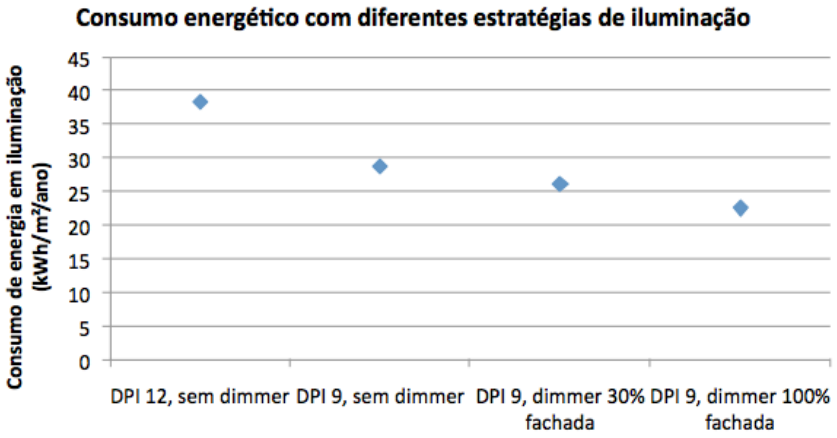


***Figura 21** - Consumo de energia com diferentes estratégias de iluminação*

CARGAS DE TOMADAS

Os consumos energéticos em cargas de tomadas estão entre os maiores desconhecidos na estratégia de eficiência energética para a edificação, pois não dependem de cargas grandes individuais, e sim de diversas pequenas cargas que são difíceis de submedir e avaliar.

Referências internacionais (CIBSE *Guide* F, Menezes 2012, CIBSE TM54) foram utilizadas para realizar cálculos iniciais sobre as variações de consumo de cargas de tomada. Ficou claro que os consumos dependem de diversos fatores, sobre tudo:

- Densidade de ocupação;
- Tipos de computador e uso de *notebooks*;
- Consumo noturno; e

- Uso de UPS e *no-breaks*.

Em muitos edifícios foi difícil entrar nas áreas privativas, e os consumos de UPS e computadores quase nunca recebem submedição. (Consumo noturno total pode ser estimado nos casos em que há medição remota do edifício como todo, pela curva de carga, mas geralmente as cargas noturnas são dominadas por CPDs).

Sendo assim, a maior variação esperada é na densidade de ocupação, um valor que é possível de ser observado tanto em levantamentos estatísticos quanto nas auditorias energéticas.

A variação observada nas auditorias energéticas foi utilizada para criar dados de entrada para a **TABELA 7**, que mostra os resultados da simulação para consumos de cargas de tomada com diversas densidades de ocupação. Um valor total de aproximadamente 150W/estação de trabalho é utilizado para calcular a variação na carga de computadores. Isso inclui cargas diretas de estações de trabalho e cargas adicionais, como impressoras e demais equipamentos nos andares.

A simulação realizada para **TABELA 7** foi juntada aos resultados das simulações para outros consumos e uma estimativa de 100 kWh/m²/ano de cargas adicionais (conforme as estimativas em **TABELA 6** para consumos não calculados na simulação) para gerar estimativas de consumo total para edificações, a fim de comparar com os levantamentos reais. A **FIGURA 22** mostra a sobreposição destas estimativas de variação de consumo com densidade de ocupação com a **FIGURA 2**, que mostra a variação estatística (com uma linha de regressão) de consumo energético devido à variação de ocupação. É claro que a linha de regressão dos dados estatísticos está muito bem alinhada com os resultados das simulações, o que valida os cálculos realizados.

Densidade de ocupação	Densidade de ocupação (m²/pessoa)	Computadores (W/m²)	Outros equipamentos (W/m²)	Consumo de cargas de tomada (kWh/m²/ano)
Mais densa	7,50	18	2	47,2
	10,00	13	2	35,8
Normal	11,11	12	2	33,5
	12,50	11	2	31,2
Menos densa	15,38	8	2	24,4
Diretoria	17,99	6,33	2	20,6

Tabela 7 - *Simulação de impactos de variação na densidade de ocupação*

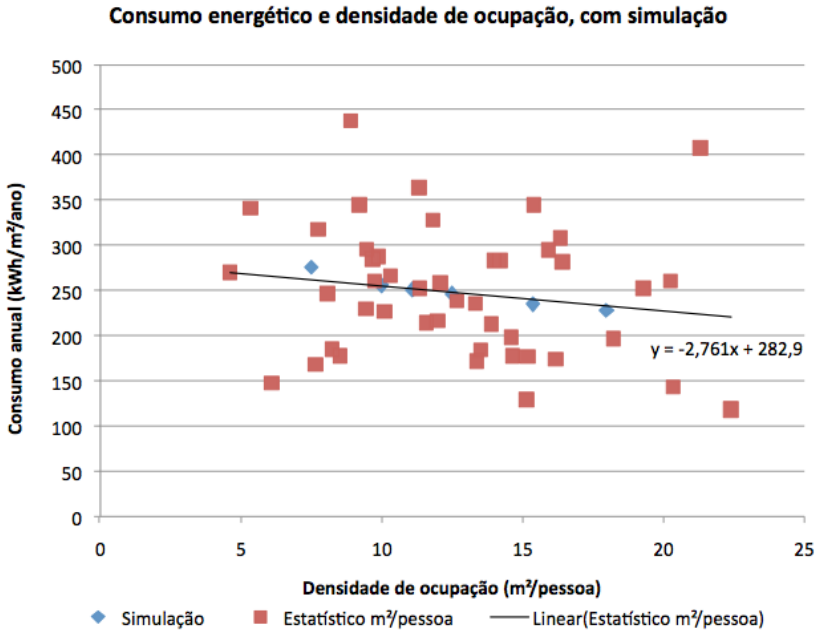


Figura 22 - *Consumo energético e densidade de ocupação, com simulação*

6. Cálculo de consumos adicionais

CPDS, SERVIDORES E DATACENTERS..... 73

ESTACIONAMENTOS..... 76

ELEVADORES..... 77

BOMBAS DE ÁGUA POTÁVEL..... 78

CPDS, SERVIDORES E DATACENTERS

O consumo energético de centrais de processamento de dados (CPDs) tem mostrado uma tendência crescente. A presença ou ausência de CPDs grandes em edificações pode influenciar tanto o consumo energético que esse pode passar a ser o uso dominante, já que diversas empresas instalam CPDs que atendem não apenas às demandas do escritório, mas também às demais demandas da organização em outros locais.

O termo CPD é utilizado para se referir apenas a salas dedicadas de processamento de dados, com sistemas de resfriamento e controle de entrada. Na maioria de casos, são utilizados sistemas de resfriamento dedicados, sendo comuns os "sistemas de precisão" dedicados, da forma *Self*, com insuflamento pelo piso, retorno pelo teto e uso de corredores quentes e frios para otimizar a distribuição de calor. A Energia é geralmente consumida para os seguintes fins:

- Processamento de dados;
- UPS (*no-break*);
- Refrigeração;
- Rejeição de calor; e
- Iluminação.

Os levantamentos mostram uma grande variação no consumo dos CPDs, e não há possibilidade de relacionar o consumo do CPD com outras características da edificação.

Este estudo não contemplou uma avaliação detalhada de eficiência energética e *benchmarking* de eficiência em CPDs, este assunto deve ser tratado em um futuro estudo. (As auditorias energéticas identificaram medidas de eficiência nos CPDs, mas não chegaram a avaliar sua eficiência global.)

Internacionalmente, existem alguns projetos de pesquisa e normas em desenvolvimento para avaliar e garantir a eficiência de CPDs, como por exemplo, a norma ASHRAE 90.4. Para caracterizar eficiência, é necessário definir um índice de consumo que pode servir como base para comparações.

O índice de área de CPD não é adequado, devido às grandes variações em densidade de uso do espaço; não foi encontrada nenhuma relação coerente entre os kW instalados e a área útil. Desta forma, o consumo de kWh/m²/ano não é relevante para comparações de eficiência.

O índice mais utilizado internacionalmente é o PUE, Power Usage Effectiveness (Efetividade de Utilização de Potência), uma relação entre o consumo do CPD para processamento de dados e o consumo para outros fins (principalmente ar condicionado). Porém, esta medida tem utilidade limitada por não considerar as potenciais economias nos equipamentos de processamento de dados. Além disso, tal metodologia exige o uso de diversos submedidores, para medição do consumo do CPD e dos outros consumos; esta submedição não é difícil de ser instalada em um novo projeto, mas a implantação em CPDs existentes é complicada.

A potência instalada do CPD é um dado que geralmente pode ser acessado mais facilmente, através dos diagramas elétricos e por leitura direta das placas das UPS. Porém, em muitos casos estudados, é instalada uma potência elétrica muito superior àquilo realmente em uso, para possibilitar futuras ampliações. Desta forma, o uso da potência instalada de UPS também não se mostra confiável para avaliar o consumo do sistema. Conforme os levantamentos realizados, CPDs geralmente têm dois perfis de consumo: um durante horários comerciais e um segundo fora dos horários comerciais. Entretanto, estes dois perfis se mantêm relativamente constantes nos diferentes dias do ano.

Fica claro então, que para a realização de uma comparação coerente entre diversas edificações, é necessário que seja feito a separação do consumo do CPD, e que por enquanto não há dados suficientes para realizar uma avaliação da eficiência comparativa entre os CPDs.

Desta forma, a recomendação é que seja utilizada sempre a submedição do CPD, incluindo todos os consumos finais a ele associados (sobretudo resfriamento e, quando possível/viável, também a rejeição de calor).

Como segunda opção, quando não é possível submedir, devem ser realizadas medições pontuais das potências médias consumidas durante o horário comercial, durante a noite e durante o dia no final de semana. Com uso de uma quantidade adequada de medições para tirar a média de consumo, uma média ponderada dos consumos pontuais pode ser utilizada para realizar uma estimativa do consumo anual do CPD.

A equação a seguir demonstra uma metodologia para estimar este consumo. Idealmente, cada potência medida deve ser a média de pelo menos dez medições obtidas com equipamentos adequados e calibrados, em diversos horários representativos.

$$Consumo\ anual\ (kWh) = P_{dia} * \sum(h_{dia}) + P_{noite} * \sum(h_{noite}) + P_{fds} * \sum(h_{fds})$$

Onde:

P_{dia} = potência média medida durante horários de operação do edifício (kW)

P_{noite} = potência média medida durante a semana, fora de horários de operação do edifício (kW)

P_{fds} = potência média medida durante o dia nos sábados e domingos (kW)

h_{dia} = número de horas de operação do edifício durante um ano

h_{noite} = número de horas durante dias de trabalho em que o edifício está inoperante

h_{fds} = número de horas de sábados, domingos e feriados durante um ano

$h_{dia} + h_{noite} + h_{fds} = 8.760$

ESTACIONAMENTOS

O perfil de consumo de estacionamentos é diferente do perfil de escritórios, então a área de estacionamento não é considerada na área útil condicionada para cálculo do consumo total. Há grande variação no tamanho das áreas de estacionamento encontradas nas edificações estudadas (entre 0m² e 52.000m²), e esta variação é geralmente uma função da inserção urbana e idade do prédio, sendo assim fora do controle dos gestores dos edifícios.

Estacionamento externo não apresenta consumo energético significativo, restrito apenas a iluminação durante horários de uso durante a noite. Porém, estacionamentos cobertos, geralmente localizados nos subsolos de prédios comerciais, apresentam consumo significativo de ventilação (exaustão) e iluminação durante todo o período de uso dos estacionamentos.

A energia para exaustão depende da potência instalada do sistema de exaustão, do sistema de controle e dos horários de uso ao longo do ano. A densidade de potência instalada de exaustão mostrou variação significativa de 0,5 – 1,3 W/m². De forma geral, não foram encontrados sistemas inteligentes de controle de exaustão, apesar de existir uma possibilidade interessante para uso de sistemas baseados no controle de qualidade do ar nos estacionamentos que não têm altos índices de utilização.

A energia para iluminação depende da densidade de potência de iluminação (DPI), do sistema de controle utilizado e dos horários de utilização. A DPI geralmente ficou entre 2 e 3 W/m², devido ao uso de sistemas fluorescentes e ao baixo nível de iluminação necessário em estacionamentos. Sistemas de controle foram pouco utilizados, e de modo geral, os sistemas tiveram aproximandamente 14h de funcionamento por dia.

Desta forma, podemos considerar que o consumo por metro quadrado de área de estacionamento deve exibir uma variação que depende apenas da eficiência dos sistemas utilizados. Considerando operação 76h por semana, podemos estudar diferentes cenários:

• Um sistema eficiente, com 0,50 W/m² de exaustão, DPI = 2,0 W/m², fator de controle de 70% para a iluminação (o que representa um sistema de controle que desliga a iluminação 30% do tempo durante operação). Consumo esperado = 6,94 kWh/m²/ano

• Um sistema típico, com 0,84 W/m² de exaustão, DPI = 3,0 W/m², sem controle inteligente. Consumo esperado = 14,42 kWh/m²/ano

Cabe lembrar que estes valores representam consumo por m² de área de estacionamento, e não por área útil condicionada da edificação.

ELEVADORES

O consumo energético de elevadores depende de diversos fatores, e os sistemas de elevadores são geralmente separados dos outros sistemas prediais da edificação, permitindo uma análise isolada. Conforme a metodologia desenvolvida em CIBSE Guide D e CIBSE TM54, o consumo energético de um elevador pode ser calculado utilizando a seguinte equação:

*Consumo anual de energia = S*P*t4*

Onde

S = Acionamentos por ano

P = Potência do motor

t = tempo de subida

O tempo de subida do elevador e a potência do motor foram medidos nas edificações visitadas, e o número de acionamentos por ano estimado com base no perfil de ocupação do prédio. Desta forma, foi possível estimar o consumo de energia devido aos elevadores em cada edifício.

O consumo dos edifícios mostrou uma variação de 0,85 – 14,71 kWh/m²/ano. Este consumo variou devido a fatores como: a eficiência do sistema, a altura do prédio e o número de elevadores em operação.

Criando uma relação entre as características medidas e a equação de consumo energético em elevadores, foi possível chegar a uma estimativa de consumo de 700 kWh/elevador/andar/ano. Esta estimativa não mostra um alto grau de precisão, mas como os elevadores geralmente representam apenas 2% do consumo energético da edificação, este grau de confiança é considerado suficiente para a análise em questão.

BOMBAS DE ÁGUA POTÁVEL

O consumo energético devido às bombas de água potável não é calculado na simulação energética. Este depende de fatores como a altura do prédio, consumo de água, pressão de fornecimento e resistência da tubulação utilizada. Geralmente, é um consumo baixo quando comparado aos outros consumos de um edifício comercial. Nos levantamentos realizados, as estimativas de consumo de bombeamento de água potável tiveram variação de 0,93 – 5,49 kWh/m²/ano. A média foi de 2,6 kWh/m²/ano, e a recomendação é que este valor seja utilizado diretamente, sem necessidade de demais calculos para dar uma base de comparação de consumo.

7. Desenvolvimento do Benchmark

METODOLOGIA ADOTADA 80

DEFINIÇÃO DO *BENCHMARK* 84

EQUAÇÃO DOS *BENCHMARKS* 85

EDIFÍCIOS MULTIUSUÁRIOS 87

EXEMPLOS DE COMPARAÇÃO COM OS *BENCHMARKS* 88

LIMITAÇÕES DO *BENCHMARK* 90

AVALIAÇÃO DO *BENCHMARK APÓS APLICAÇÃO EM AUDITORIAS DETALHADAS EM MAIS QUATRO EDIFÍCIOS* 91

METODOLOGIA ADOTADA

A metodologia de desenvolvimento de *benchmarks* foi desenvolvida dentro do Comitê Temático de Energia do CBCS, e publicado em revista científica (Borgstein 2014) e na Comunicação Técnica do CT Energia em 21 de agosto de 2014. A metodologia se utiliza de modelos estatísticos, de relatórios de auditoria energética e de simulação energética para caracterizar o consumo esperado de uma edificação, conforme detalhado neste relatório.

O desenvolvimento da metodologia foi feito em paralelo à publicação do benchmark para agências bancárias. Porém, o *benchmark* para agências foi construído de forma simplificada, utilizando apenas uma correção climática, devido à carência das informações detalhadas que seriam necessárias para realização de um *benchmark* mais detalhado.

No caso de escritórios corporativos, o projeto de cooperação entre o CBCS, Embaixada Britânica e Procel Eletrobras permitiu a coleta das informações detalhadas neste relatório, o que possibilitou o desenvolvimento de um relatório igualmente mais detalhado.

O princípio do *benchmark* é a representação de um operational rating, descrito em mais detalhe no primeiro relatório deste projeto ("Análise do sistema Britânico de etiquetagem energética de edificações em operação", do 11 de novembro de 2014). Este operational rating envolve uma comparação entre o consumo real, medido da edificação, e o consumo esperado por um edifício típico de tal tipologia.

Considerando o consumo energético operacional de uma edificação, há três fases na vida do edifício em que é possível ter um grande impacto neste desempenho. Conforme mostrado em **TABELA 8**, é possível controlar algumas variáveis apenas no momento de escolher a localização do terreno, outros fatores durante o projeto da edificação e demais fatores durante a operação e manutenção diária da edificação. É possível considerar que fatores de localização e projeto são definidos na construção de

um novo edifício, que dados de projeto e operação podem sofrer variação durante um *retrofit*, e que dados de operação podem ser controlados durante a operação e retrocomissionamento do edifício, sem necessidade de grandes alterações no edifício.

Sendo assim, a princípio, um *benchmark* deve comparar o consumo real da edificação com o consumo que seria atingido por um edifício típico da mesma tipologia, com a mesma ocupação de usuários, na mesma localização.

Dentro dos parâmetros básicos e fatores limitantes do edifício (definido em muitos casos pela idade da edificação), o consumo deve ser comparado com o consumo que seria esperado por um projeto eficiente, e que poderia ser atingido com a troca de equipamentos simples, sem precisar um grande *retrofit*. Finalmente, o consumo real deve ser comparado com o consumo de um edifício que mostra estratégias adequadas de operação, sem grandes desperdícios.

Localização	Projeto	Operação
Forma construtiva	PAF	Equipamentos de escritório, servidores
Clima	Vidro	Horários de operação
Inserção urbana	Sistema de ar condicionado	Densidade de ocupação
	Iluminação	*Setpoints*, programação e controle
	Elevadores	Balanceamento, comissionamento
	CPD	Monitoramento

***Tabela 8** - Variáveis de consumo energético e fases na vida da edificação*

Para escritórios corporativos, são definidas 35 variáveis com grande importância para o cálculo de consumo energético. A **TABELA 9** mostra estas variáveis, relacionando cada variável aos principais consumos energéticos impactados por ela. As variáveis estão divididas entre localização,

edifício, sistemas e ocupantes, e a gama de valores esperados na tipologia de escritórios corporativos é identificada.

Cada valor é identificado como variável dependente ou independente, sendo que correções são desenvolvidas apenas para as variáveis dependentes. Ou seja, o *benchmark* deve realizar comparações entre o consumo energético real, e o consumo esperado por um edifício que tem características independentes iguais a um edifício típico do mercado, e características dependentes iguais ao edifício real.

Variáveis dependentes precisam ser incluídas nos fatores de correção desenvolvidos, e são representados por equações simplificadas, de forma a mostrar seu impacto no consumo energético. Geralmente, um valor dependente é um valor que é intrínseco ao funcionamento do edifício (muitas vezes definido pelo usuário, como densidade de ocupação), ou um valor que cuja alteração não seja viável, como o clima local por exemplo. É necessário que as informações fornecidas para permitir o cálculo de uma correção (ou variável dependente), possam ser levantadas pelos operadores do edfiício e verificadas com facilidade.

Variáveis podem ser classificadas como independentes se cumprir ao menos um dos requisitos a seguir:

a) É uma variável sob controle dos operadores, como o *setpoint* de ar condicionado, por exemplo;

b) É possível alterar o valor da variável com implantação de medidas de eficiência energética pelos ocupantes ou proprietários, sem necessidade de se alterar drasticamente a infraestrutura do prédio; ou

c) A variável tem pouco impacto no consumo energético.

Variável	Unidade	Tipo	Influencia - Uso final primário	Influencia - Uso final secundário	Fonte	Mínimo	Máximo	Modelado no *benchmark*
Intensidade climática	GHR	Site	Resfriamento	Rejeição de calor	LabEEE TMYs	2000	84700	Sim
Fator de sombreamento urbano		Site	Resfriamento	Rejeição de calor	Auditoria energética	Zero	Alto	Não
Fachadas externas	#	Site	Resfriamento	Rejeição de calor	Auditoria energética	2	4	Não
Área de laje	m²	Edifício	Resfriamento	Rejeição de calor	Dados estatísticos	800	3600	Não
Razão superfície/área da laje	%	Edifício	Iluminação	Resfriamento	Dados estatísticos	0,6	0,28	Não
PAF	%	Edifício	Resfriamento	Rejeição de calor	Auditoria energética	40%	100%	Não
Fator de sombreamento externo		Edifício	Resfriamento	Rejeição de calor	Auditoria energética	Não há	Significativo	Não
Fator solar do vidro		Edifício	Resfriamento	Rejeição de calor	Auditoria energética	0,25	0,8	Não
Desempenho térmico das paredes	W/m²K	Edifício	Resfriamento	Rejeição de calor	Auditoria energética	1,5	3,5	Não
DPL	W/m²	Sistemas	Iluminação	Resfriamento	Auditoria energética	8	15	Não
***Daylighting* controle**		Sistemas	Iluminação	Resfriamento	Auditoria energética	Não	*Dimmer*	Não
COP		Sistemas	Resfriamento	n/a	Auditoria energética	3	7,8	Não
Energia para rejeição de calor	kWh/m².a	Sistemas	Rejeição de calor	n/a	Auditoria energética	6	35	Não
Energia para ventilação	kWh/m².a	Sistemas	Ventilação	n/a	Auditoria energética	10	35	Não
Bombeamento de água gelada	kWh/m².a	Sistemas	Resfriamento	n/a	Auditoria energética	3	15	Não
Controle local do sistema de ventilação		Sistemas	Resfriamento	Ventilação	Auditoria energética	Não	Sim	Não
Área de estacionamento	m²	Sistemas	Estacionamento	n/a	Auditoria energética	0	52000	Sim
Número de elevadores		Sistemas	Elevadores	n/a	Auditoria energética	14	20	Sim
Datacenter consumo energético	kWh/a	Sistemas	Datacentres	n/a	Auditoria energética	64	210	Sim
Bombeamento de água potável	kWh/m².a	Sistemas	Bombas de água	n/a	Auditoria energética	1,5	5,5	Não
Densidade de potência de ventilação do estacionamento	W/m²	Sistemas	Estacionamento	n/a	Auditoria energética	0,5	1,3	Não
Densidade de potência de iluminação do estacionamento	W/m²	Sistemas	Estacionamento	n/a	Auditoria energética	2	2,8	Não
Fator de controle de iluminação do estacionamento	%	Sistemas	Estacionamento	n/a	Auditoria energética	1	1	Não
Densidade de ocupação	m²/pessoa	Ocupantes	Cargas de tomada	Resfriamento	Dados estatísticos	8	60	Sim
Uso de *notebooks*		Ocupantes	Cargas de tomada	Resfriamento	Auditoria energética	Baixo	100%	Não
Cronograma de ocupação	hr/semana	Ocupantes	Cargas de tomada	Resfriamento	Auditoria energética	50	71	Não
Uso noturno de cargas de tomada	%	Ocupantes	Cargas de tomada	Resfriamento	Auditoria energética	5%	10%	Não
Cronograma do sistema de ar condicionado	hr/semana	Ocupantes	Resfriamento	Ventilação	Auditoria energética	72	72	Não
Uso de persianas internas		Ocupantes	Resfriamento	Iluminação	Auditoria energética	Não	Sim	Não
***Setpoint* de resfriamento**	°C	Ocupantes	Resfriamento	n/a	Auditoria energética	22	25	Não
Taxa de Ocupação	% conjuntos ocupados	Ocupantes	Todos	n/a	Auditoria energética	30%	100%	Sim
Pressão média nos ventiladores	Pa	Sistemas	Ventilação	n/a	Auditoria energética	250	500	Não
Pressão nas bombas de água gelada	kPa	Sistemas	Resfriamento	n/a	Auditoria energética	100	100	Não
Pressão nas bombas das torres de resfriamento	kPa	Sistemas	Rejeição de calor	n/a	Auditoria energética	30	30	Não
Fluxo do sistema de água gelada		Sistemas	Resfriamento	n/a	Auditoria energética	Volume constante	Volume variável	Não

Tabela 9 - *Variáveis dependentes e independentes de consumo energético*

DEFINIÇÃO DO *BENCHMARK*

O *benchmark* é definido para representar dois casos. O *benchmark* "típico" representa uma edificação que contempla sistemas prediais adequados e uma operação correta, sem grandes desperdícios. Este *benchmark* deve ser visto como uma base de comparação com o mercado, representando um nível típico de eficiência para a operação de uma determinada edificação.

O *benchmark* de "boa prática" representa uma edificação com sistemas eficientes e uma operação otimizada. Deve ser considerado como uma meta para o desempenho da edificação, que pode ser atingida com a implantação de medidas de eficiência energética e um programa de gestão energética.

A **TABELA 10** mostra os valores das variáveis identificadas na **TABELA 9**, identificando os valores esperados em um edifício típico e um edifício de boa prática.

Variável	Unidades	Valor típico	Valor boa prática
Intensidade climática	CDH	43700	43700
Fator de sombreamento urbano		Baixo	Baixo
Fachadas externas	#	4	4
Área de laje	m²	1600	1600
Razão superfície/área da laje	%	40%	40%
PAF	%	70%	70%
Fator de sombreamento externo		Zero	Zero
Fator solar do vidro		0,59	0,31
Desempenho térmico das paredes	W/m²K	2,5	2,5
DPL	W/m²	11	9
Controle de *daylighting*		Não	Dimerizado
COP		4,8	5,6
Energia para rejeição de calor	kWh/m².a	12	8
Energia para ventilação	kWh/m².a	20	15
Bombeamento de água gelada	kWh/m².a	10	7
Controle local do sistema de ventilação		Sim	Sim
Área de estacionamento	m²	n/a	n/a
Número de elevadores		14	14
Datacenter consumo energético	kWh/m².a	64	64
Bombeamento de água potável	kWh/m².a	2,6	2,6
Densidade de potência de ventilação do estacionamento	W/m²	0,84	0,5
Densidade de potência de iluminação do estacionamento	W/m²	2,8	2
Fator de controle de iluminação do estacionamento	%	100%	100%
Densidade de ocupação	m²/pessoa	11,1	11,1
Uso de *notebooks*		Baixo	Baixo

***Tabela 10** - Valores de variáveis de desempenho energético*

Cronograma de ocupação	hr/semana	48,5	48,5
Uso noturno de cargas de tomada	%	5%	2%
Cronograma do sistema de ar condicionado	hr/semana	77	77
Uso de persianas internas		Não	Não
***Setpoint* de resfriamento**	°C	22,5	23,5
Taxa de ocupação	% conjuntos ocupados	80%	80%
Pressão média nos ventiladores	Pa	450 (insuflamento) + 150 (exaustão)	450 (insuflamento) + 150 (exaustão)
Pressão nas bombas de água gelada	Pa	100.000	100.000
Pressão nas bombas das torres de resfriamento	Pa	30.000	30.000
Fluxo do sistema de água gelada		Volume constante	Volume variável

EQUAÇÃO DOS *BENCHMARKS*

O *benchmark* de consumo é definido por uma equação (ou modelo simplificado), levando em consideração os fatores de correção aplicados. Esta equação define um nível de desempenho esperado pela edificação. Dependendo dos valores das constantes adotadas, esta equação define o nível "típico" de desempenho, ou o nível de "boa prática".

O *benchmark* pode ser calculado com uso da seguinte equação:

$$E_{benchmark} = c_0 + c_1 \cdot \frac{GHR}{1000} + c_2 \cdot \frac{A_{estac}}{A_{util_ocup}} + c_3 \cdot (N_{f,média} - N_f) + c_4 \cdot N_{andar} \cdot \frac{N_{elev}}{A_{util_ocup}} + \frac{E_{CPD}}{A_{util_ocup}} + \frac{E_{outros}}{A_{util_ocup}}$$

Sendo:

$$A_{util_ocup} = A_{util} \cdot Taxa\ ocupação \quad \text{e} \quad N_f = \frac{A_{escrit_ocup}}{N_{func}}$$

Onde:

$E_{benchmark}$ é o consumo energético, medido em kWh por ano por m² de área útil, condicionada e ocupada, conforme a definição em capítulo 2

$c_{0...4}$= Constantes com os valores definidos em **TABELA 11**

GHR= Grau-horas de resfriamento, bulbo úmido, com temperatura base de 15°CBU

A_{estac}= Área de estacionamento coberto, ventilado e iluminado

A_{util}= Área útil, condicionada, conforme a definição em capítulo 2

A_{utilo_cup} = Área útil, condicionada e ocupada

Taxa ocupação = Porcentagem de conjuntos ocupados, em média, nos últimos 12 meses

$N_{f,\ média}$= Densidade média de funcionários em escritórios corporativos = 11,1 m²/pessoa

N_f= Densidade de ocupação no edifício durante um dia típico de operação (m²/pessoa)

A_{escrit} = Área de escritórios, área locável ou área de carpete. É a área privativa efetivamente ocupada por escritórios. Caso esse número seja desconhecido, é sugerido usar a seguinte fórmula: A_{escrit} = 0,78 x $Á_{util}$.

A_{escrit_ocup} = Áreas de escritórios efetivamente ocupada (A_{escrit} x Taxa ocupação)

N_{func} = Número de funcionários trabalhando no edifício durante um dia típico de operação

N_{andar}= Número de andares, contado desde o térreo até o andar ocupado mais alto, desconsiderando andares exclusivamente técnicos acima do último andar ocupado

N_{elev}= Número de elevadores em uso durante operação típica do edifício, excluindo elevadores que são pouco utilizados ou atendem apenas o térreo e subsolos

E_{CPD}= Consumo energético anual medido do CPD, incluindo consumo do sistema de resfriamento e UPS ou no-break do CPD, conforme submedição

E_{Coz}= Consumo elétrico anual de cargas especiais, como a cozinhas ou laboratórios, conforme submedição

As equações que definem os *benchmarks* utilizam as relações entre consumo energético e características físicas das edificações desenvolvidas em capítulos 3, 4, 5 e 6 para definir os valores dos constantes e as relações nas equações. Interferências entre as diferentes categorias consideradas nas equações (e nas variáveis dependentes) são desconsideradas, por representarem efeitos de segundo grau, cujos impactos são menores que o grau de confiaça do modelo e por isso não devem ser considerados.

Existe uma importante faixa de incerteza nos *benchmarks*, mas estes modelos permitem comparações básicas entre consumos reais e potenciais de consumo em edificações de escritórios corporativos.

Cálculo	Constante	Típico	Boa prática	Unidades
Benchmark	c_0	145,15	111,31	kWh/m²/ano
	c_1	0,39	0,33	kWh/m²/(1000 GHR)/ano
	c_2	14,4	10,0	kWh/m²/ano
	c_3	4,15	4,15	kWh/pessoa/ano
	c_4	700	700	kWh/andar/elevador/ano

Tabela 11 *- Valores dos constantes das equações de benchmarking*

EDIFÍCIOS MULTIUSUÁRIOS

O *benchmark* desenvolvido se refere apenas ao consumo total da edificação. Lembrando que em edifícios multiusuários, as contas das áreas comuns e áreas privativas são geralmente pagas por entidades diferentes, é importante que seja possível distribuir os consumos entre áreas privativas e comuns, para realizar comparações nos dois casos.

Para realizar estas comparações, é necessário levantar duas informações adicionais:

- Se a energia utilizada por ventilação está inclusa na conta da área comum (sim/não)

Benchmark	Típico		Boa prática	
Uso final	**Privativa**	**Comum**	**Privativa**	**Comum**
Iluminação	29,89	5,27	22,42	3,93
Cargas de tomada	33,51 + $c_3*(N_{f,média} - N_f)$	-	33,51 + $c_3*(N_{f,média} - N_f)$	-
Ventilação	16,38		11,47	
Refrigeração e rejeição de calor	$(c_0 - 87,66) + c_1*GHR$		$(c_0 - 73,75) + c_1*GHR$	
Estacionamento	-	$c_2*A_{estac} / A_{util_ocup}$	-	$c_2*A_{estac} / A_{util_ocup}$
Elevador	-	$c_4* N_{andar} * N_{elev} / A_{util_ocup}$	-	$c_4* N_{andar} * N_{elev} / A_{util_ocup}$
Bombeamento de água potável	-	2,6	-	2,6
CPD	E_{CPD} / A_{util_ocup}	-	E_{CPD} / A_{util_ocup}	-
Cozinha	$E_{outros} / A_{util_ocup}$	-	$E_{outros} / A_{util_ocup}$	-

***Tabela 12** - Consumos das áreas comuns e privativas*

- Se a energia de resfriamento está inclusa na conta da área comun (sim/não)

Desta forma, a equação do benchmark de consumo energético pode ser separada em usos finais, e tais usos divididos entre áreas privativas e comuns, conforme **TABELA 12**.

Com a alocação dos consumos de ventilação e refrigeração para área privativa ou área comun, é possível calcular benchmarks separados para áreas comuns e áreas privativas, que são relacionados com o *benchmark* total pela seguinte equação:

$$E_{total} = E_{comum} + E_{privativa} \ (kWh/m^2/ano)$$

EXEMPLOS DE COMPARAÇÃO COM OS *BENCHMARKS*

Para demonstração da utilização do *benchmark*, são realizadas comparações entre o consumo estimado com uso do modelo e o consumo real encontrado nas edificações estudadas dentro deste projeto. **FIGURA 23** mostra comparações globais dos consumos encontrados com os *benchmarks* "típicos" e "boa prática" em todos os sete edifícios que forneceram dados suficientes para realizar esta comparação.

É interessante notar que na maioria dos casos o potencial de melhoria, identificado pela diferença entre o consumo medido e a boa prática, é parecido com o potencial de melhoria identificado na auditoria energética. Na média global, estas edificações consumiram 5% a mais do que seria

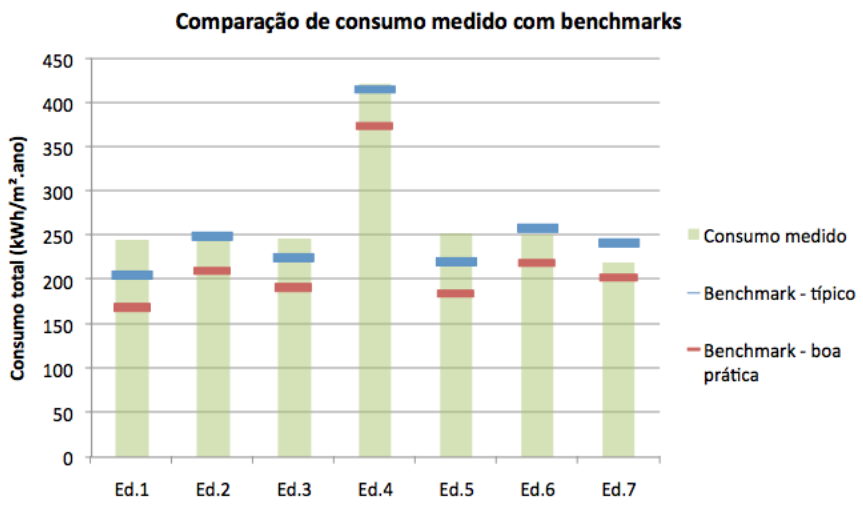


Figura 23 - Comparação dos edifícios estudados com benchmarks

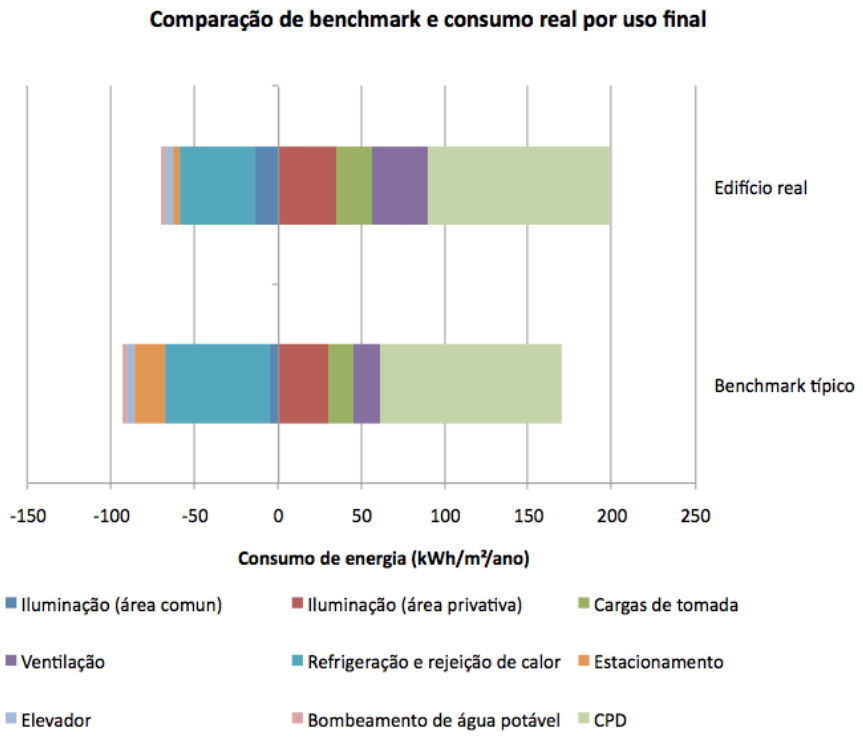


Figura 24 - Comparação de um edifício multiusuário estudado com benchmarks das áreas privativas e comuns

esperado pelo *benchmark*. Porém, esta diferença se explica principalmente pela ineficiência na operação do Ed. 1 e nos sistemas no Ed. 5.

A **FIGURA 24** mostra a comparação de áreas privativas e comuns para apenas um edifício (Ed. 2), sendo este um edifício multiusuário típico. O valor desta metodologia é claramente demonstrado, pois fica evidente que um resultado global praticamente igual ao *benchmark* esconde a ineficiência dos sistemas de ventilação e iluminação, por meio de uma alta eficiência de refrigeração (COP alto no *chiller*).

LIMITAÇÕES DO *BENCHMARK*

Da forma que está estruturado, o *benchmark* conta com algumas limitações importantes, que devem fazer parte de futuros estudos.

Não foi desenvolvida nenhuma metodologia ou critério para avaliação e *benchmarking* de CPDs. Dada a crescente importância de CPDs e a tendência de virtualização de sistemas de computação, um estudo de *benchmarking* especificamente para CPDs é indicado como uma prioridade de pesquisa nas próximas etapas do projeto. Por enquanto, o *benchmark* funciona apenas com a retirada do consumo energético do CPD do consumo total, para realizar comparação direta.

Cozinhas e restaurantes também não foram avaliados diretamente, por conta da ausência de dados e de submedição dos consumos destas áreas. O critério para avaliação destas áreas não é necessariamente a área que ocupam, sendo que em muitos casos é medido e relatado o consumo energético por refeição servida (por exemplo na CIBSE TM46). O consumo de gás é um fator importante na avaliação da eficiência de restaurantes, e coleta de dados de combustíveis fósseis não fez parte desta avaliação. O desempenho energético de cozinhas deve ser o assunto de futuros estudos e pesquisas.

A avaliação dos sistemas de AVAC neste *benchmark* foi simplificada, baseada nos sistemas encontrados nas edificações estudadas. Um complemento importante para este estudo seria a medição operacional de dados operacionais de diversos sistemas de ar condicionado com diferentes idades. Sobretudo, será importante ter dados medidos do COP real operacional (que é diferente do COP de projeto) em sistemas a água gelada e VRFs, esses são os dois tipos de sistemas mais comuns em novos projetos no mercado neste momento. Para isso, será necessário um projeto de medição e pesquisa, com instalação de equipamentos de medição de energia e água gelada. Os resultados deste projeto poderão alimentar futuras atualizações e correções no *benchmark*.

A densidade urbana também não foi considerada neste *benchmark*, devido à dificuldade de criar uma metodologia adequada para a avaliação desta variável, e o impacto pequeno destas variações no consumo total. Porém, é importante avaliar o impacto de um edifício grande em seu entorno, sobretudo em casos de edifícios com altos índices de refletividade, uma vez que estas edificações podem ter grandes impactos no conforto e consumo energético de outras áreas externas e edifícios. Neste momento, impactos urbanos não foram considerados neste *benchmark*.

Finalmente, o *benchmark* trabalha com a suposição que os "serviços energéticos" de conforto interno, renovação de ar e outras variáveis de qualidade ambiental são atingidos dentro dos edifícios estudados. Estes serviços são os motivos de grande parte do consumo energético, e uma avaliação real deve comparar os consumos energéticos para atingir o mesmo nível de serviço. Na prática, há muita variação nos níveis de qualidade ambiental dentro de edificações, o que pode indicar que um edifício se mostra mais eficiente simplesmente por não atingir os níveis mínimos de conforto térmico. A avaliação de conforto térmico e qualidade ambiental ficou fora do escopo deste trabalho, mas deverá ser considerada em futuros trabalhos na área.

AVALIAÇÃO DO BENCHMARK APÓS APLICAÇÃO EM AUDITORIAS DETALHADAS EM MAIS QUATRO EDIFÍCIOS

Em 2015, o benchmark foi aplicado na realização de diagnósticos energéticos detalhados em mais quatro edifícios, como parte da continuação do projeto DEO do CBCS. A aplicação a esses edifícios foi muito valiosa para adaptar alguns itens da equação do benchmark e para tirar conclusões específicas. (Esta versão do relatório já reflete as adaptações feitos à equação).

Primeiramente, pôde-se validar o benchmark, visto que os resultados foram coerentes com o esperado nessas auditorias. No entanto, foi concluído que o benchmark não é aplicável para edifícios naturalmente

ventilados. A Figura 25 detados obtidos, sendo o Edifício 1 um prédio naturalmente ventilado. Os Edifícios 1, 2 e 3 são localizados em São Paulo - SP, e o Edifício 4, no Rio de Janeiro - RJ.

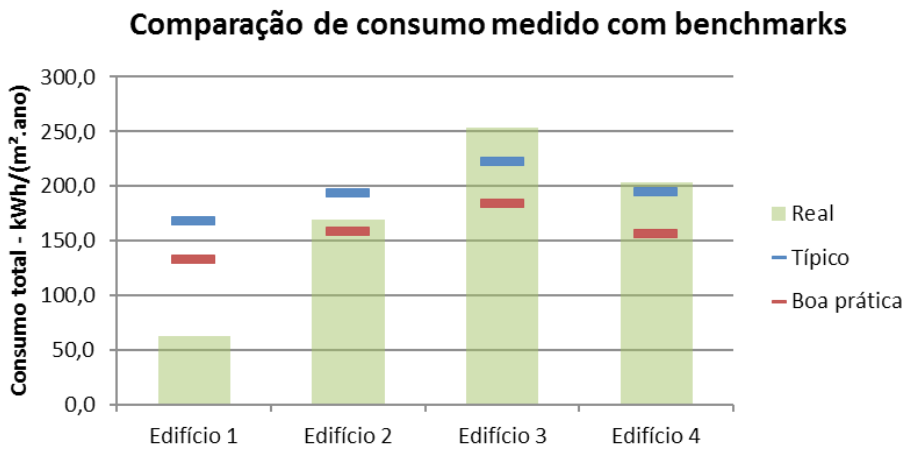


Figura 25 - Comparação dos quatros edifícios adicionais estudados com benchmarks

A separação entre áreas comuns e privativas do benchmark também foi validada, aplicada ao Edifício 4, conforme **FIGURA 26**.

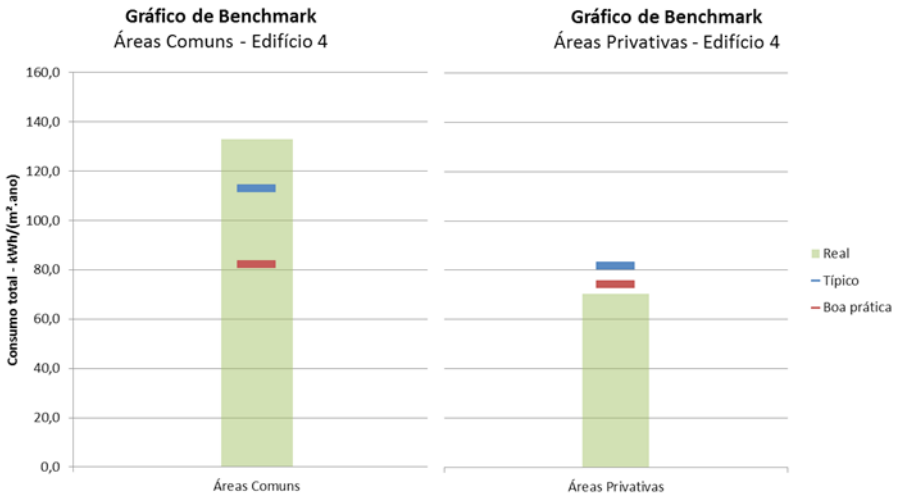


Figura 26 - Comparação de um edifício com os benchmarks de áreas comuns e áreas privativas

As auditorias realizadas incluíram também uma avaliação da satisfação dos usuários. Foi constatado que os Edifícios 1 e 2 tiveram resultados baixos na avaliação de conforto, embora apresentem um resultado energético bom no benchmark. Já os Edifícios 3 e 4 receberam avaliação muito positivas de comforto, porém estão com consumo pior que o nível típico no benchmark.

Principais conclusões obtidas:

- O benchmark não se aplica a edifícios naturalmente ventilados, sem ar condicionado.

- O benchmark não leva em consideração o nível de conforto que o edifício proporciona aos usuários. Assim, um edifício desconfortável, porém com baixo consumo de energia, pode ser apresentado como eficiente. Portanto, para se obter uma avaliação global do desempenho de um edifício, o benchmark não deve ser avaliado isoladamente, sem levar em conta o conforto.

- Pode ser considerado que é muito difícil atender o nível de Boa Prática para edifícios com alto nível de conforto dos usuários.

- Foi possível observar a sensibilidade das variáveis, principalmente a população do edifício (Nfunc). Essa é uma variável com pouca precisão que tem um impacto grande sobre o resultado do benchmark.uditorias realizadas incluíram também uma avaliação da satisfação dos usuários. Foi constatado que os Edifícios 1 e 2 tiveram resultados baixos na avaliação de conforto, embora apresentem um resultado energético bom no benchmark. Já os Edifícios 3 e 4 receberam avaliação muito positivas de comforto, porém estão com consumo pior que o nível típico no benchmark.

8. Recomendações para Certificação DEO no Brasil

APLICAÇÃO VOLUNTÁRIA DO *BENCHMARK* 95

PROGRAMA NACIONAL DE CERTIFICAÇÃO DEO 95

GARANTIA DE QUALIDADE 96

CERTIFICAÇÃO DE PRÉDIOS PÚBLICOS 96

IMPLANTAÇÃO GRADATIVA 97

CURADORIA TÉCNICA DO PROGRAMA 97

ESTUDOS E PESQUISAS 97

No encerramento deste projeto, é possível realizar uma série de recomendações para a implantação de um programa de certificação de Desempenho Energético Operacional (DEO) no Brasil. Baseado nas avaliações deste projeto, no sistema Britânico de etiquetagem de eficiência energética operacional, a forma final do *benchmark* e os resultados da oficina de etiquetagem, são feitas as seguintes recomendações para um eventual programa de certificação DEO.

APLICAÇÃO VOLUNTÁRIA DO *BENCHMARK*

• Os *benchmarks* e outras ferramentas de implantação de programas de gestão energética devem ser disponibilizados para uso voluntário no mercado, como ferramenta de gestão.

• O CBCS deve abrir espaço nas reuniões do CT Energia para receber *feedback* de empresas e organizações que utilizam os *benchmarks* de forma voluntária.

• Deve ser possibilitado o uso de um certificado de eficiência energética de forma voluntária, antes da implantação mandatória. Mesmo que, no início haja pouca adesão, isso possibilita o aperfeiçoamento das metodologias e ferramentas.

PROGRAMA NACIONAL DE CERTIFICAÇÃO DEO

• Um programa nacional de eficiência energética operacional deve ser liderado pelo Procel, contemplando *benchmarking*, certificação DEO, auditoria energética e ferramentas de apoio para facilitar a implantação de programas de gestão energética.

• Deve ser formada uma plataforma online, vinculada a um servidor permanente e banco de dados para recolher as informações fornecidas por uso voluntário e mandatório das ferramentas de *benchmarking* e certificação DEO.

• Um planejamento no médio e longo prazo do programa deve colocar metas claras para obrigatoriedade de transparência (*disclosure*) e certificação DEO.

• O programa deve ser vinculado ao Procel Edificações e comparado ao PBE Edifica, e todos devem ter uma campanha de conscientização para aumentar a visibilidade da certificação no mercado e incentivar a adoção voluntária.

• Deve ser preparada uma metodologia para treinamento de auditores energéticos, junto com registros e credenciamento para os profissionais que irão trabalhar com a certificação.

• Os custos de implementação de *benchmarks* e as outras ferramentas de gestão energética devem ser minimizados. Um pequeno custo para registro de certificados deve ser utilizado para financiar a manutenção do programa de certificação DEO no longo prazo.

GARANTIA DE QUALIDADE

• Os procedimentos para recolha e relato de informações sobre as edificações devem estar sujeitos a procedimentos e definições para garantir a qualidade e confiabilidade das informações fornecidas, sem aumentar muito a complexidade e custo de implementação.

• Certificados DEO deverão ser emitidos apenas por auditores qualificados e credenciados, que assumem responsabilidade para a qualidade das informações fornecidas.

CERTIFICAÇÃO DE PRÉDIOS PÚBLICOS

• A Portaria 23 do Ministro do Estado de Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), de 23 de feveiro 2015, junto com o programa Esplanada Sustentável e o SiSPES, devem ser considerados como fatores importantes viabilizando a implementação de *benchmarking*, a transparência, a gestão energética e eventualmente a certificação DEO em prédios públicos federais. Inicialmente, programas de eficiência para prédios públicos devem obrigar apenas a transparência, sem obrigação de atendimento de níveis específicos de desempenho.

• Programas parecidos devem ser considerados por governos estaduais e municipais, sobretudo em grandes cidades e capitais. As ferramentas proporcionadas no âmbito da certificação DEO devem ser disponibilizadas para responáveis destes governos, de forma didática.

IMPLANTAÇÃO GRADATIVA

• Devem ser estudados modelos de implantação gradativa de *benchmarking* em grandes municípios, grandes edifícios e tipologias específicas. Um exemplo de implantação seria com uso de uma lei municipal de transparência, conforme o exemplo de Nova York, Seattle e outras cidades dos EUA.

• Já existem diversos projetos de lei municipais para incentivo de sustentabilidade na construção com iniciativas de IPTU Verde, por exemplo. O programa de certificação DEO deve ser proposto como base técnica para qualquer projeto que visa incentivos a longo prazo (como redução no IPTU, por exemplo), pois é a única maneira de garantir operação eficiente após entrega da edificação.

CURADORIA TÉCNICA DO PROGRAMA

• Devem ser implementados procedimentos para curadoria técnica do programa de *benchmarking*, incluindo revisão dos *benchmarks* e procedimentos de certificação em intervalos pré-definidos.

ESTUDOS E PESQUISAS

• *Benchmarks* devem ser desenvolvidos e publicados especificamente para prédios públicos administrativos.

• *Benchmarks* devem ser desenvolvidos e publicados para demais tipologias importantes, incluindo CPDs.

• Uma metodologia para avaliação de conforto térmico deve ser desenvolvida e aplicada, mesmo que não seja parte integrante da certificação DEO.

- Procedimentos para auditoria energética devem se desenvolvidos e publicados, para servir como a base para programas de capacitação e registro de profissionais.

- Uma metodologia para estudar o impacto urbano de edificações deve ser estudada.

Referências

ASHRAE Procedures for Commercial Building Energy Audits, second edition, ASHRAE 2011

ASHRAE Standard 90.4P, Proposed Energy Standard for Data Centers and Telecommunications Buildings, public review 2015, ASHRAE

Borgstein, E. H., and R. Lamberts - Developing energy consumption benchmarks for buildings: Bank branches in Brazil. Energy and Buildings 82 (2014) 82–91.

Borgstein, E.H. - Energia primária em edifícios no Brasil, Revista Sistemas Prediais, Engenharia e Arquitetura, January 2014

CBCS - Comunicação técnica: Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, outubro 2014

CIBSE – TM22: Energy Assessment and Reporting Methodology, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2006

CIBSE – TM46: Energy Benchmarks, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2008

CIBSE - TM47: Operational Ratings and Display Energy Certificates, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2009

CIBSE Guide D - Transportation systems in buildings, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2010

CIBSE Guide F - Energy efficiency in buildings, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2012

CIBSE TM54 - Evaluating Operational Energy Performance of Buildings at the Design Stage, Chartered Institute of Building Services Engineers, 2013

ECON19 - Energy Efficiency Best Practices Programme, Energy Consumption Guide 19: Energy use in Offices, March 2003

EN 15603 - Energy performance of buildings — Overall energy use, CO2 emissions and definition of energy ratings, 2008

EPE - Estudos de Demanda de Energia, Nota técnica DEA 13/14 : Demanda de Energia 2050. Plano Nacional de Energia 2050, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2014-1

EPE - Estudos Econômicos, Nota técnica DEA 12/14 : Cenário Econômico 2050. Plano Nacional de Energia 2050, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2014-2

Healy, D. - Asset Ratings and Operational Ratings: The relationship between different energy certificate types for UK buildings, Submitted to the University of Cambridge in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Studies in Interdisciplinary Design for the Built Environment, 2011

Hinge, A., A. Cullen, B. Neely, C. Taylor - Building energy rating schemes around the world: What do we know? ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 2014

Hong, S.M. and P. Steadman – An Analysis of Display Energy Certificates for Public Buildings, 2008-2012, A report to the Chartered Institute of Building Services Engineers, UCL Energy Institute December 2013

IEA - Energy Performance Certification of Buildings: A policy tool to improve energy efficiency. International Energy Agency, OECD, Paris, 2010

MENEZES, A.C., A. Cripps, D. Bouchlaghem, R. Buswell, 2013 - Benchmarking small power energy consumption in UK office buildings: a review of data published in CIBSE guide F. Building Services Engineering Research and Technology, 34 (1), pp. 73-86

Standeven, M. and B. Bordass – Landlord's Energy Statement: Guidance and Specification, version 2.3, Usable Buildings Trust, April 2007

Apêndices

A. LISTA DE PRODUTOS DO PROJETO 103

B. FICHA DE BENCHMARK, CONFORME PADRÃO CBCS 104

C. METODOLOGIAS ALTERNATIVAS DE CÁLCULO DO *BENCHMARK* ... 106

A. LISTA DE PRODUTOS DO PROJETO

Produto 1 - Análise do sistema Britânico de etiquetagem energética de edificações em operação (DECs)

- 2014-11-11 CBCS Relatório DECs v1

Produto 2 – Avaliação da contribuição de medidores inteligentes para melhorar o padrão de etiquetagem energética e incentivar eficiência

- 2015-01-28 CBCS Relatório MIntel v1

Produto 3 – Desenvolvimento de um benchmark piloto

- 2015-05-07 CBCS Relatório *benchmarking* v0
- 2015-02-11 Relatório Auditoria Eletrobras v1
- 2015-02-19 Relatório Auditoria iTower v1
- 2015-02-26 Relatório Auditoria Petrobras EDIHB v1
- 2015-03-03 Relatório Auditoria JLL Continental v1
- 2015-03-03 Relatório Auditoria Panamérica Park v1
- 2015-03-04 Relatório Auditoria Santander v1
- 2015-03-05 Relatório Auditoria São Luis v1
- 2015-03-06 Relatório Auditoria Tower Bridge v2

Produto 4 – Oficina de benchmarking e etiquetagem energética

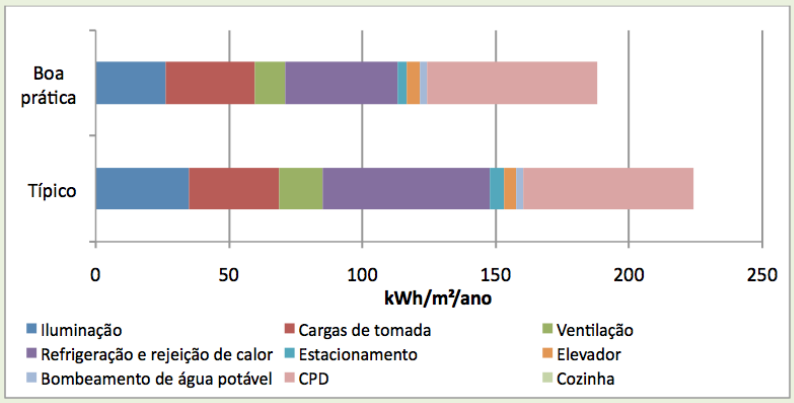
- Oficina DEO – Documento Informativo
- 2014-11-26 Apresentação CBCS Cert DEO v1

Produto 5 – Relatório final e recomendações

- 2015-05-07 CBCS Relatório *benchmarking* v0

B. FICHA DE *BENCHMARK*, CONFORME PADRÃO CBCS

Benchmark CBCS

Tipologia	Escritório Corporativo
Caracterização da tipologia	De forma geral, um escritório corporativo é um edifício grande, geralmente com mais de 18 andares e área de laje acima de 700m² (em alguns casos, os edifícios são mais baixos mas têm grandes áreas de laje). Dentro de edifícios comerciais, existem muitos edifícios multiusuários, em que se aluga a laje ou conjunto; nestes casos, há uma separação de consumo energético entre as áreas comuns (geralmente rateado no condomínio) e as áreas privativas. A situação mais comum é a existência de um medidor de energia para cada inquilino. Também existem edifícios monousuários, nos quais a conta de energia representa a totalidade da edificação. Escritórios corporativos têm altas densidades de consumo energético, devido ao uso intenso de computadores e centrais de processamento de dados (CPDs). Também têm exigências de conforto térmico aos usuários; perto de 100% da área útil é condicionada, com predominância de sistemas centrais de ar condicionado utilizando água gelada e VRFs em novas edificações. Em alguns casos, os edifícios têm sistemas de Selfs ou Splits, principalmente nas edificações mais antigas.
Equação do *benchmark*	**Consumo energético (kWh/m²/ano):** $Ebenchmark = c0 + c1 \cdot GHR + c2 \cdot AestacAutil + c3 \cdot Nf,média - Nf + c4 \cdot Nandar \cdot NelevAutil + ECPDAutil + ECozAutil$ Onde: $E_{benchmark}$ é o consumo energético, medido em kWh por ano por m² de área útil, condicionada, conforme a definição em capítulo 2 $c_{0...4}$ = Constantes com os valores definidos embaixo GHR = Grau-horas de resfriamento, bulbo úmido, com temperatura base de 15°C_{BU} A_{estac} = Área de estacionamento coberto, ventilado e iluminado A_{util} = Área útil, condicionada, conforme a definição em capítulo 2 $N_{f,\ média}$ = Densidade média de funcionários em escritórios corporativos = 11,1 pessoas/m² N_f = Número de funcionários trabalhando no edifício durante um dia típico de operação, dividido pela área útil, condicionada (pessoas/m²) N_{andar} = Número de andares, contado desde o térreo até o andar ocupado mais alto, desconsiderando andares exclusivamente técnicos acima do último andar ocupado N_{elev} = Número de elevadores em uso durante operação típica do edifício, excluindo elevadores que são pouco utilizados ou atendem apenas o térreo e subsolos E_{CPD} = Consumo energético anual medido do CPD, incluindo consumo do sistema de resfriamento e UPS ou *no-break* do CPD, conforme submedição Para calcular o *benchmark* **típico**, são adotados os seguintes valores: c_0 = 145,15; c_1 = 0,39; c_2 = 14,4; c_3 = 4,15; c_4 = 700 Para calcular o *benchmark* de **boa prática**, são adotados os seguintes valores: c_0 = 111,31; c_1 =0,33; c_2 = 10,0; c_3 = 4,15; c_4 = 700
Consumo típico	 *Bases de cálculo: Zona bioclimática de São Paulo, $GHR_{bu,15}$ = 14.170 horas/ano; escritório de 22 andares; 1600m²/andar; 90% ocupação; 11,1m²/funcionário; 10.000m² de estacionamento; consumo no CPD de 1,843MWh/ano; zero consumo de cozinha.*

Consumo por uso final (kWh/m²/ano)	***Benchmark***	**Típico**		**Boa prática**	
	Uso final	Privativa	Comum	Privativa	Comum
	Iluminação	29,89	5,27	22,42	3,93
	Cargas de tomada	$33,51 + c_3*(N_{f,média} - N_f)$		$33,51 + c_3*(N_{f,média} - N_f)$	
	Ventilação[1]	16,38		11,47	
	Refrigeração e rejeição de calor[1]	$(c_0 - 87,66) + c_1*GHR$		$(c_0 - 73,75) + c_1*GHR$	
	Estacionamento	-	c_2*A_{estac} / A_{util}	-	c_2*A_{estac} / A_{util}
	Elevador	-	$c_4* N_{andar} * N_{elev} / A_{util}$	-	$c_4* N_{andar} * N_{elev} / A_{util}$
	Bombeamento de água potável	-	2,6	-	2,6
	CPD	E_CPD / A_{util}	-	E_CPD / A_{util}	-
	Cozinha	E_Coz / A_{util}	-	E_Coz / A_{util}	-
Fatores de correção	**Clima**	Correção com base em grau-horas de resfriamento, com temperatura de base de 15°C bulbo úmido.			
	Forma construtiva	n/a			
	Intensidade de uso	Correção com base na densidade de ocupação, medido em pessoas/m².			
	Usos especiais	Consumo de estacionamento está contemplado por meio de uma correção. Outras correções permitem a retirada de consumos referentes à cozinhas e CPDs.			
Relação com PBE Edifica		A calibração da correlação com PBE Edifica não tinha sido concluida no momento de publicação deste *benchmark*. Será adicionada em uma futura etapa.			
Período de recolha de dados		Dados referentes a 2012-2014. Dados recolhidos entre maio 2013 e janeiro 2015.			
Data de publicação		07/05/2015			
Amostra utilizada		Dados simples: 249 edifícios Dados detalhados: 157 edifícios Auditorias energéticas: 8 edifícios			
Simulação utilizada		A simulação energética foi desenvolvida em *DesignBuilder*, com base nos dados recolhidos. Um andar tipo de 1.600m² foi utiliado com base para o modelo, dividido em uma área de *core* e uma área de laje, com cinco zonas térmicas. A simulação foi validada com uso dos dados recolhidos, comparando o consumo da simulação em cada zona climática com os resultados das medições em tal zona.			
Horários de funcionamento considerados		Escritório: 9h-18h, com operação parcial 7h-9h, 18h-19h, e 10h-16h nos sábados			
Limitações do *benchmark*		Não foi considerada a densidade urbana. Deviam ser desenvolvidos *benchmarks* específicos para CPD e cozinhas, para complementar este *benchmark*. A modelagem de AVAC foi feita principalmente com base em sistemas a água gelada, e deve incluir mais detalhe sobre outros modelos. Conforto e qualidade ambiental não foram considerados.			
Futuros trabalhos		Recolher dados detalhados adicionais com auditorias energéticas e testar o *benchmark* contra edificações existentes para validar os valores. Criar uma metodologia de avaliação de conforto.			
Previsão para revisão		07/05/2020			
Referências		E.H. Borgstein and R. Lamberts, Developing energy consumption *benchmarks* for buildings: Bank branches in Brazil, Energy and Buildings 82 (2014) 82-91			
Responsáveis para desenvolvimento		Edward Borgstein, edward@mitsidi.com Professor Roberto Lamberts, roberto.lamberts@ufsc.br			
Empresas parceiras no desenvolvimento		Cushman & Wakefield Jones Lang LaSalle BR Properties Santander Eletrobras Petrobras CTE Tishman Speyer Takaoka			

[1] Ventilação e refrigeração podem ser aplicados tanto na área comum, quanto na área privativa

C. METODOLOGIAS ALTERNATIVAS DE CÁLCULO DO *BENCHMARK*

No desenvolvimento dos *benchmarks*, foram propostas duas metodologias alternativas para cálculo de *benchmarks* simples (com o mínimo de levantamentos) e *benchmarks* detalhados (com fatores adicionais de correção). Estas metodologias foram mostradas na reunião do CT Energia no dia 24/4/2015; na dicussão seguinte, foi decidido que uma metodologia final seria mais adequada, englobando os consumos do *benchmark* simples e adicionando uma correção para densidade de ocupação. As demais correções da versão detalhada (para condensação, ventilação com volume de ar constante e porcentagem de abertura na fachada) foram removidas, por representar fatores que os proprietários podem controlar. Desta forma, houve um risco de "permitir" ou incentivar níveis de eficiência inferiores para edificações com fachadas de vidro ou sistemas antigos e ineficientes.

Os *benchmarks* alternativos são inclusos aqui de forma apenas informativa.

O *benchmark* é definido para dois níveis de detalhe, conforme os levantamentos necessários para cálculo das correções e realização de comparações com os *benchmarks*. A **TABELA 9** define quais variáveis dependentes entram no *benchmark* simples, e quais serão considerados apenas no cálculo do *benchmark* detalhado.

BENCHMARK SIMPLES

Um *benchmark* simples serve apenas para referência e uma rápida comparação, com uso dos dados disponíveis.

O *benchmark* simples pode ser calculado com uso da seguinte equação:

$$E_{simples} = k_0 + k_1 * GHR + k_2 * A_{estac}/A_{util} + E_{CPD}/A_{util}$$

Onde:

$E_{simples}$ é o consumo energético, medido em kWh por ano por m² de área útil, condicionada, conforme a definição em capítulo 2

k_0, k_1 e k_2 = Constantes com os valores definidos na **TABELA 11**

GHR = Grau-horas de resfriamento, bulbo úmido, com temperatura base de 15°C_{BU}

A_{estac} = Área de estacionamento coberto, ventilado e iluminado

A_{util} = Área útil, condicionada, conforme a definição em capítulo 2

E_{CPD} = Consumo energético anual do CPD, incluindo consumo do sistema de resfriamento e UPS ou *no-break* do CPD, conforme submedição ou medições pontuais em conformidade com a metodologia descrita em capítulo 6

***BENCHMARK* DETALHADO**

Um *benchmark* detalhado envolve mais cálculos e serve para realizar uma avaliação mais confiável do desempenho de uma edificação.

O *benchmark* detalhado pode ser calculado com uso da seguinte equação:

$$E_{detalhado} = c_0 + c_1 * GHR + c_2 * PAF - 40 + c_3 * Cond_{Ar} + c_4 * A_{estac} A_{util} + c_5 * VAC + c_6 * N_{f,\,média} - N_f + c_7 * N_{andar} * N_{elev} A_{util} + E_{CPD} A_{util} + E_{Coz} A_{util}$$

Onde:

$E_{detalhado}$ é o consumo energético, medido em kWh por ano por m² de área útil, condicionada, conforme a definição em capítulo 2

$c_{0...7}$ = Constantes com os valores definidos em **TABELA 11**

GHR = Grau-horas de resfriamento, bulbo úmido, com temperatura base de 15°C_{BU}

PAF = Porcentagem de abertura na fachada do edifício (com valor entre 40 e 100)

C_{ondAr} = Valor binário (sim/não), valor = 1 se o edifício utiliza um sistema de condicionamento de ar com condensação a ar, valor = 0 se utiliza condensação a água

A_{estac} = Área de estacionamento coberto, ventilado e iluminado

A_{util} = Área útil, condicionada, conforme a definição em capítulo 2

VAC = Valor binário (sim/não), valor = 1 para sistema de ar condicionado de volume constante (VAC), valor = 0 para volume de ar variável (VAV) ou VRF

$N_{f,\ média}$ = Densidade média de funcionários em escritórios corporativos = 11,1 pessoas/m²

N_f = Número de funcionários trabalhando no edifício durante um dia típico de operação, dividido pela área útil, condicionada (pessoas/m²)

N_{andar} = Número de andares, contado desde o térreo até o andar ocupado mais alto, desconsiderando andares exclusivamente técnicos acima do último andar ocupado

N_{elev} = Número de elevadores em uso durante operação típica do edifício, excluindo elevadores que são pouco utilizados ou atendem apenas o térreo e subsolos

E_{CPD} = Consumo energético anual medido do CPD, incluindo consumo do

sistema de resfriamento e UPS ou *no-break* do CPD, conforme submedição

E_{Coz} = Consumo elétrico anual da cozinha, conforme submedição

As equações que definem os *benchmarks* utilizam as relações entre consumo energético e características físicas das edificações desenvolvidas em capítulos 3, 4, 5 e 6 para definir os valores dos constantes e as relações nas equações. Interferências entre as diferentes categorias consideradas nas equações (e nas variáveis dependentes) são desconsideradas, por representarem efeitos de segundo grau, cujos impactos são menores que o grau de confiaça do modelo e por isso não devem ser considerados.

Existe uma importante faixa de incerteza nos *benchmarks*, mas estes modelos permitem comparações básicas entre consumos reais e potenciais de consumo em edificações de escritórios corporativos.

Benchmark	Constante	Boa prática	Típico
SIMPLES	k_0	142,55	102,57
	k_1	0,39	0,33
	k_2	14,4	10,0
DETALHADO	c_0	136,55	96,57
	c_1	0,39	0,33
	c_2	0,2	0,2
	c_3	50,1	50,1
	c_4	14,4	10,0
	c_5	17,6	17,6
	c_6	4,15	4,15
	c_7	700	700

***Tabela 13** - Valores dos constantes das equações de benchmarks alternativos*

SÃO PAULO - SP / 2015