



PROJETO DE GRADUAÇÃO 2

**ESTUDO DE CASO: RECUPERAÇÃO DE ENERGIA
E VENTILAÇÃO CONTROLADA POR DEMANDA
EM PLENÁRIO DA CÂMARA DOS DEPUTADOS**

LEONARDO PRADO YAMAMOTO

Brasília, Dezembro de 2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO 2

**ESTUDO DE CASO: RECUPERAÇÃO DE ENERGIA
E VENTILAÇÃO CONTROLADA POR DEMANDA
EM PLENÁRIO DA CÂMARA DOS DEPUTADOS**

LEONARDO PRADO YAMAMOTO

*Projeto de Graduação 2 submetido ao Departamento de Engenharia
Mecânica como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro em Engenharia Mecânica*

Banca Examinadora

Prof. Dr. João Manoel Dias Pimenta, ENM/UnB
Orientador

Prof. Dr. Armando de Azevedo Caldeira Pires,
ENM/UnB
Examinador interno

Eng. Matheus Sodré Valverde, Câmara dos Dep.
Examinador externo

FICHA CATALOGRÁFICA

YAMAMOTO, LEONARDO PRADO

ESTUDO DE CASO: RECUPERAÇÃO DE ENERGIA E VENTILAÇÃO CONTROLADA POR DEMANDA EM PLENÁRIO DA CÂMARA DOS DEPUTADOS [Distrito Federal] 2023.

xvi, 125 p., 210 x 297 mm (ENM/FT/UnB, Engenheiro, Engenharia Mecânica, 2023).

Projeto de Graduação 2 - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Mecânica

- | | |
|--|--------------------|
| 1. Eficiência energética | 2. Ar condicionado |
| 3. Ventilação controlada por demanda , VCD | 4. Climatização |
| 5. Recuperador de energia, ERV | 6. EnergyPlus |
| I. ENM/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

YAMAMOTO, L.P. (2023). *ESTUDO DE CASO: RECUPERAÇÃO DE ENERGIA E VENTILAÇÃO CONTROLADA POR DEMANDA EM PLENÁRIO DA CÂMARA DOS DEPUTADOS*. Projeto de Graduação 2, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 125 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: LEONARDO PRADO YAMAMOTO &

TÍTULO: ESTUDO DE CASO: RECUPERAÇÃO DE ENERGIA E VENTILAÇÃO CONTROLADA POR DEMANDA EM PLENÁRIO DA CÂMARA DOS DEPUTADOS.

GRAU: Engenheiro em Engenharia Mecânica ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Leonardo Prado Yamamoto

Depto. de Engenharia Mecânica (ENM) - FT

Universidade de Brasília (UnB)

Campus Darcy Ribeiro

CEP 70919-970 - Brasília - DF - Brasil

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por ter me afortunado com pessoas incríveis que fui conhecendo ao longo da minha vida e por sempre guiar os meus passos. Aos meus pais pelo amor, cuidado e por terem se abdicado de tantas coisas para que eu pudesse ter uma educação de qualidade. Por sempre acreditarem na minha capacidade e me motivarem a ser cada vez melhor.

Ao Prof. Dr. João Manoel Dias Pimenta por todas as oportunidades oferecidas ao decorrer do curso e por todo o auxílio na realização e aperfeiçoamento desse trabalho. Agradeço também por todos os ensinamentos e dedicação na formação de seus alunos. Gostaria de agradecer ao Eng. Matheus Sodré Valverde por contribuir na minha formação profissional, por todas as orientações pessoais e pelas diversas oportunidades que ele me deu, as quais impactaram diretamente a minha vida. Gostaria de agradecer também aos Engenheiros Celso de Menezes, Raphael Queiroz, Érico Guimarães, José Lúcio Pinheiro e Marcelo Macedo por terem contribuído na minha formação profissional e por sempre me incentivarem a estudar.

Aos meus amigos de longa data Gabriel Bezerra, Laura de Castro, Ângela Reis e Maria Eduarda Silva, que sempre acompanharam minha trajetória, me ajudaram em momentos de dificuldade e fizeram minha vida mais leve e feliz. Ao "clube do bigas": Paulo Vitor Dias, Carlos Henrique Medrado, Vinícius Wolney, Gabriel Lima, Pedro Augusto Pontes, João Pedro Cruz, Robespierre Itagiba e Enzo Bispo por todos os momentos bons e perrengues, por todas as conversas tortas e pelo suporte.

Em especial, à minha namorada Letícia Albuquerque, por ter me acompanhado durante essa trajetória, ser sempre o meu refúgio, por sempre me apoiar e comemorar minhas conquistas como se fossem dela.

LEONARDO PRADO YAMAMOTO

RESUMO

Esse trabalho objetiva analisar os impactos da implementação de recuperação de energia e da ventilação controlada por demanda sobre o consumo elétrico, concentração de CO₂ e a carga térmica do sistema de ar condicionado em um plenário do Anexo II da Câmara dos Deputados. Foi feita uma revisão bibliográfica sobre conceitos fundamentais de qualidade do ar interior e regulamentação energética em edificações, qualidade do ar e recuperação de energia. Dando sequência explicou-se o modelo adotado para as simulações computacionais no DesignBuilder, foi apresentado o estudo de caso e cálculo de carga térmica do plenário. Elencaram-se os resultados das simulações computacionais, de maneira que foram avaliados a carga térmica, o consumo de energia elétrica e a concentração de CO₂ no ambiente. Os resultados apontam que a utilização dessas tecnologias podem reduzir de 6,6% até 28,2% no insumo de energia elétrica e se pagarem em até pouco mais de 4 anos.

ABSTRACT

This work aims to analyze the impacts of implementing energy recovery and demand-controlled ventilation on electrical consumption, CO₂ concentration, and the thermal load of the air conditioning system in a plenary hall of Annex II of the Chamber of Deputies. A literature review was conducted on fundamental concepts of indoor air quality, energy regulation in buildings, air quality, and energy recovery. Subsequently, the adopted model for computer simulations in DesignBuilder was explained, and the case study and calculation of the plenary hall's thermal load were presented. The results of the computer simulations were listed, evaluating the thermal load, electrical energy consumption, and CO₂ concentration in the environment. The findings indicate that the use of these technologies can reduce electrical energy consumption by 6.6% to 28.2% and pay off within a little over 4 years.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	O TEMA EM ESTUDO E SUA RELEVÂNCIA	1
1.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1.3	OBJETIVOS	10
1.4	METODOLOGIA	10
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	11
2	REVISÃO CONCEITUAL	13
2.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL	13
2.2	ASHRAE 90.1	14
2.3	<i>NET ZERO ENERGY BUILDINGS</i>	15
2.4	PROGRAMAS DE CERTIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÕES	16
2.4.1	LEED	16
2.4.2	BREEAM	18
3	RECUPERAÇÃO DE ENERGIA SENSÍVEL E/OU LATENTE	20
3.1	VISÃO GERAL	20
3.2	HEAT RECOVERY VENTILATORS - HRVS	21
3.2.1	RELAÇÕES TERMODINÂMICAS	22
3.3	ENERGY RECOVERY VENTILATORS - ERVS	23
3.3.1	RELAÇÕES TERMODINÂMICAS	24
4	QUALIDADE DO AR E VENTILAÇÃO	26
4.1	QUALIDADE DO AR INTERIOR	26
4.1.1	VISÃO GERAL	26
4.1.2	QUAIS SÃO OS FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DO AR INTERIOR	28
4.2	VENTILAÇÃO DE AR EXTERIOR	28
4.2.1	VENTILAÇÃO NATURAL	29
4.2.2	VENTILAÇÃO FORÇADA	30
4.2.3	VENTILAÇÃO HÍBRIDA	31

4.2.4	MODELO DE VENTILAÇÃO DILUIDORA	32
4.2.5	VENTILAÇÃO CONTROLADA POR DEMANDA	35
4.2.6	NORMATIZAÇÃO	36
5	DEFINIÇÕES DO MODELO COMPUTACIONAL	39
5.1	DESCRIÇÃO DO SISTEMA ELEITO	39
5.2	ESTRATÉGIAS DE CÁLCULO E CONTROLE DOS SUBSISTEMAS	40
5.2.1	AMBIENTE CONDICIONADO.....	41
5.2.2	SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO.....	41
5.2.3	SISTEMA DE VENTILAÇÃO CONTROLADA POR DEMANDA	42
5.2.4	DISPOSITIVO RECUPERADOR DE ENERGIA	42
5.2.5	MODELO COMPLETO	43
6	ESTUDO DE CASO	44
6.1	CÂMARA DOS DEPUTADOS	44
6.1.1	ANEXO II	44
6.1.2	PLENÁRIO 02	45
6.2	CARGA TÉRMICA	46
6.2.1	CIDADE DO PROJETO	46
6.2.2	ESTRUTURA FÍSICA	48
6.2.3	FONTES INTERNAS DE CALOR	48
6.2.4	SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO E VENTILAÇÃO	50
6.2.5	VAZÃO DE AR EXTERIOR.....	52
6.2.6	PERFIL DE CARGA TÉRMICA	54
7	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	55
7.1	SIMULAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CO ₂	55
7.2	RESULTADOS DOS CENÁRIOS PROPOSTOS	57
7.2.1	CENÁRIO 1 - SOLUÇÃO EXISTENTE	57
7.2.2	CENÁRIO 2 - SOLUÇÃO EXISTENTE COM ERV	59
7.2.3	CENÁRIO 3 - SOLUÇÃO COM VCD.....	62
7.2.4	CENÁRIO 4 - SOLUÇÃO COM ERV E VCD	64
7.2.5	COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS	67

8	ANÁLISES DE VIABILIDADE ECONÔMICA	69
8.1	ESTIMATIVA DOS CUSTOS	69
8.1.1	CUSTOS OPERACIONAIS	69
8.1.2	CUSTOS INICIAIS	70
8.2	RESULTADOS	73
8.2.1	CENÁRIO 2 - SOLUÇÃO EXISTENTE COM ERV	74
8.2.2	CENÁRIO 3 - SOLUÇÃO COM VCD	75
8.2.3	CENÁRIO 4 - COMBINAÇÃO DE ERV COM VCD	76
8.2.4	COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS	77
9	CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	78
9.1	CONCLUSÕES	78
9.2	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	80
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
	ANEXOS	86
	ANEXO A - CATÁLOGO ERV SicFLUX CRS 100 A 200	86
	ANEXO B - CATÁLOGO ERV SicFLUX CRS 355	88
	APÊNDICES	90
	APÊNDICE A - RESULTADOS SIMULAÇÃO DE CARGA TÉRMICA	90
	APÊNDICE B - RESULTADOS SIMULAÇÃO DO NÍVEL 2 DE VENTILAÇÃO	96
	APÊNDICE C - RESULTADOS SIMULAÇÃO DO NÍVEL 3 DE VENTILAÇÃO	98
	APÊNDICE D - RESULTADOS SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2	104
	APÊNDICE E - RESULTADOS SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3	110
	APÊNDICE F - RESULTADOS SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4	116
	APÊNDICE G - TABELA DE PREÇOS	122
	APÊNDICE H - PLANILHAS DE VIABILIDADE ECONÔMICA	125

LISTA DE FIGURAS

3.1	Representação esquemática do sistema de um HRV tradicional (OEE, 2012. Modificado).	22
3.2	Representação esquemática do sistema de um ERV tradicional (Desing Experts, 2022. Modificado).	24
4.1	Técnicas de controle para promover a qualidade do ar interior em edificações (AIHA, 2009. Modificado)	27
4.2	Mecanismos de ventilação natural (TECVENT, 2022. Modificado).	29
4.3	Representação figurativa de um sistema de ventilação forçada (Sicflux, 2020).	30
4.4	Princípios da ventilação híbrida (Heiselberg, 2002. Modificada).	31
4.5	Princípios da ventilação híbrida (ZHANG, LIU e DASU, 2012. Modificada).	35
5.1	Representação esquemática do modelo de climatização combinado com ventilação controlada por demanda e recuperador de energia. (Valverde, 2016. Modificado)	40
5.2	Representação esquemática de um ciclo de expansão indireta. (DAIKIN, 2016. Modificado)	42
5.3	Diagrama representativo do <i>loop</i> de ar da simulação computacional realizada no DesignBuilder.	43
6.1	Congresso Nacional (GDF, 2018. Modificado).	44
6.2	Fotografia do Plenário 2 das comissões em um dia comum de sessão (Poder360, 2019).	45
6.3	Média da temperatura de bulbo seco do ar em Brasília para o horário comercial no ano de 2021.	47
6.4	Média da umidade relativa do ar em Brasília para o horário comercial no ano de 2021.	47
6.5	Planta do Plenário 02 das comissões com a representação esquemática do sistema atual de ar condicionado.	51
6.6	Vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação (ABNT, 2008. Modificada).	53
6.7	Fontes de calor e seus respectivos impactos na composição da carga térmica.	54
7.1	Perfil de ocupação em um dia padrão de atividade.	56

7.2	Concentração de dióxido de carbono no interior do Plenário, considerando um dia padrão de atividade.....	56
7.3	Concentração de dióxido de carbono no interior do Plenário para diferentes níveis, considerando um dia padrão de atividade.	57
7.4	Representação esquemática do cenário convencional do sistema AVAC.	58
7.5	Curva de carga térmica para o plenário na semana de maior demanda de refrigeração. O período avaliado corresponde a uma semana útil, isto é, de Segunda-Feira à Sexta-Feira.	58
7.6	Consumo elétrico mensal do sistema HVAC.	59
7.7	Concentração de CO ₂ no ambiente ao longo do horário comercial.	59
7.8	Representação esquemática do cenário convencional do sistema AVAC acrescido de ERV.....	60
7.9	Curva de carga térmica para o plenário na semana de maior demanda de refrigeração. O período avaliado corresponde a uma semana útil, isto é, de Segunda-Feira à Sexta-Feira.	61
7.10	Consumo elétrico mensal do sistema HVAC.	61
7.11	Concentração de CO ₂ no ambiente ao longo do horário comercial.	61
7.12	Representação esquemática do cenário convencional do sistema AVAC acrescido de ventilação controlada por demanda de CO ₂	62
7.13	Concentração de CO ₂ no ambiente ao longo do horário comercial.	63
7.14	Concentração de CO ₂ no ambiente ao longo do horário comercial para novo valor de vazão.	63
7.15	Curva de carga térmica para o plenário na semana de maior demanda de refrigeração. O período avaliado corresponde a uma semana útil, isto é, de Segunda-Feira à Sexta-Feira.	63
7.16	Consumo elétrico mensal do sistema HVAC.	64
7.17	Representação esquemática do modelo de climatização combinado com ventilação controlada por demanda e recuperador de energia.	65
7.18	Curva de carga térmica para o plenário na semana de maior demanda de refrigeração. O período avaliado corresponde a uma semana útil, isto é, de Segunda-Feira à Sexta-Feira.	65
7.19	Consumo elétrico mensal do sistema HVAC.	66
7.20	Concentração de CO ₂ no ambiente ao longo do horário comercial.	67

7.21	Comparação entre as cargas térmicas simuladas para os diferentes cenários.....	68
7.22	Comparação entre o consumo de energia elétrica anual para os diferentes cenários.	68
8.1	Gráfico da economia acumulada pela utilização do ERV por ano.	74
8.2	Curva interpolada da economia acumulada pela utilização do ERV por ano.	74
8.3	Gráfico da economia acumulada pela utilização de VCD por ano.	75
8.4	Curva interpolada da economia acumulada pela utilização de VCD por ano.	75
8.5	Gráfico da economia acumulada pela utilização de VCD e ERVs por ano.....	76
8.6	Curva interpolada da economia acumulada pela utilização de VCD e ERVs por ano.	76
9.1	QR Codes dos <i>links</i> dos resultados das simulações realizadas no DesingBuilder. Para visualizá-los, é necessário instalar o DesignBuilder Results Viewer.....	96
9.2	QR Code dos <i>links</i> dos resultados das simulações realizadas no DesingBuilder. Para visualizá-los, é necessário instalar o DesignBuilder Results Viewer.....	97
9.3	Planilha de viabilidade econômica para o cenário 2.....	125
9.4	Planilha de viabilidade econômica para o cenário 2.....	125
9.5	Planilha de viabilidade econômica para o cenário 2.....	125

LISTA DE TABELAS

2.1	Pontuação LEED referente à utilização de VCD e Recuperação de Energia.	17
6.1	Características do Plenário 02 cruciais para o cálculo de carga térmica.	46
6.2	Equipamentos fixos presentes no Plenário 02 e suas potências dissipadas.....	48
6.3	Perfil de ocupação do Plenário 02, em porcentagem, no primeiro turno de sessões..	49
6.4	Perfil de ocupação do Plenário 02, em porcentagem, no segundo turno de sessões. .	50
6.5	Informações dos <i>chillers</i> de funcionamento diurno.	51
6.6	Sensores instalados para monitoramento de sinais do sistema de ar condicionado do plenário.....	52
7.1	Níveis de ventilação de ar exterior e vazões correspondentes para o Plenário.	56
7.2	Resultados de carga térmica e consumo de energia elétrica anual para os diferentes cenários e as suas respectivas reduções percentuais em comparação com a solução convencional.	67
8.1	Estimativa de custo de manutenção com base no termo aditivo em vigência do contrato 039/2020 da Câmara dos Deputados.....	70
8.2	Investimento inicial para aquisição de equipamentos para o cenário 1.	71
8.3	Investimento inicial para aquisição de equipamentos para o cenário 2.	71
8.4	Investimento inicial para aquisição de equipamentos para o cenário 3.	72
8.5	Investimento inicial para aquisição de equipamentos para o cenário 4.	73
8.6	Custos inerentes e tempo de retorno de investimento para todos os cenários.	77
9.1	Descrições dos componentes que integram os sistemas de ar condicionado dos diferentes cenários e seus respectivos valores.....	122

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

A_z	Área útil ocupada	$[m^2]$
C_i	Concentração de um contaminante no ambiente	$[mg/m^3]$
$C_{i,RP}$	Concentração de contaminante em regime permanente	$[mg/m^3]$
$C_{mín}$	Capacidade térmica mínima	$[kJ/K \cdot s]$
C_o	Concentração de um contaminante no ar exterior	$[mg/m^3]$
$c_{p,e}$	Calor específico do ar de exaustão à pressão constante	$[kJ/kg \cdot K]$
$c_{p,s}$	Calor específico do ar de suprimento à pressão constante	$[kJ/kg \cdot K]$
C_S	Concentração de CO ₂ no ambiente	$[ppm]$
C_0	Concentração de CO ₂ no ar exterior	$[ppm]$
dC_i/dt	Taxa de variação da concentração de um contaminante	$[mg/m^3 \cdot s]$
E_z	Eficiência da distribuição de ar na zona	$[-]$
F_a	Vazão de ar por área ocupada	$[L/s \cdot m^2]$
F_p	Vazão de ar por pessoa	$[L/s]$
G	Taxa de geração do contaminante	$[mg/s]$
h_{fg}	Entalpia de vaporização da água	$[kJ/kg]$
h_1	Entalpia do ar de alimentação que adentra o recuperador	$[kJ/kg]$
h_2	Entalpia do ar de alimentação que deixa o recuperador	$[kJ/kg]$
h_3	Entalpia do ar exaurido que adentra o recuperador	$[kJ/kg]$
h_4	Entalpia do ar exaurido que deixa o recuperador	$[kJ/kg]$
\dot{m}_e	Vazão mássica do ar de exaustão	$[kg/s]$
$\dot{m}_{mín}$	Vazão mássica mínima	$[kg/s]$
\dot{m}_s	Vazão mássica do ar de suprimento	$[kg/s]$
N	Taxa de geração CO ₂ por pessoa	$[ppm/h/pessoa]$
P_z	Número máximo de ocupantes	$[-]$
\dot{Q}	Vazão de ar	$[m^3/s]$
\dot{Q}_{ex}	Vazão de ar exaurido	$[m^3/s]$
\dot{Q}_{inf}	Vazão de ar infiltrado	$[m^3/s]$

\dot{q}_L	Taxa de calor latente trocado efetivamente	[kW]
\dot{q}_s	Taxa de calor sensível trocado efetivamente	[kW]
\dot{Q}_s	Vazão de ar de suprimento	[m ³ /s]
$\dot{q}_{s,máx}$	Taxa máxima de calor sensível trocado	[kW]
T_1	Temperatura do ar de alimentação que adentra o recuperador	[°C]
T_2	Temperatura do ar de alimentação que deixa o recuperador	[°C]
T_3	Temperatura do ar exaurido que adentra o recuperador	[°C]
T_4	Temperatura do ar exaurido que deixa o recuperador	[°C]
V	Volume do ambiente	[m ³]
V_{ef}	Vazão de ar exterior eficaz	[L/s]
V_S	Vazão de ar exterior na tomada de ar	[L/s]
V_z	Vazão de ar exterior a ser suprida na zona de ventilação	[L/s]
V_0	Vazão de ar exterior por pessoa	[m ³ /h/pessoa]
w_1	Umidade absoluta do ar de alimentação que adentra o ERV	[kg/kg]
w_2	Umidade absoluta do ar de alimentação que deixa o ERV	[kg/kg]
w_3	Umidade absoluta do ar exaurido que adentra o ERV	[kg/kg]
w_4	Umidade absoluta do ar exaurido que deixa o ERV	[kg/kg]

Símbolos gregos

α_i	Razão entre a vazão de ar recirculado e \dot{Q}_s	[-]
α_o	Razão entre a vazão de ar exterior e \dot{Q}_s	[-]
ε	Eficiência	[-]
ε_F	Eficiência do elemento filtrante	[-]
ε_L	Eficiência latente	[-]
ε_s	Eficiência sensível	[-]
ε_t	Eficiência total	[-]

Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating And A-C Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, ventilação e Ar Condicionado
BRE	<i>Building Research Establishment</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
Conpet	Programa Nacional do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural
CO ₂	Dióxido de Carbono
EES	<i>Engineering Equation Solver</i>
EIA	<i>U.S Energy Information Administration</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
GBC	<i>Green Building Council</i>
GDF	Governo do Distrito Federal
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
MPCE	Ministério Público do Ceará
OE	Ordem dos Engenheiros
ONU	Organização das Nações Unidas
RP	Regime Permanente
PMBSF	Prefeitura Municipal Barra de São Francisco
PMOC	Plano de Manutenção, Operação e Controle
PNE	Plano Nacional de Energia
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética

QAI	Qualidade do Ar Interior
SED	Síndrome do Edifício Doente
USGBC	<i>United States Green Building Council</i>
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
VCD	Ventilação Controlada por Demanda

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a motivação para o estudo do tema proposto, apresentando dados e estudos realizados anteriormente que corroboram a importância de sua discussão. Além disso, são compilados os principais objetivos e a metodologia utilizada para atingi-los.

1.1 O TEMA EM ESTUDO E SUA RELEVÂNCIA

A ciência tem a resolução de problemas que assolam a humanidade como uma de suas principais finalidades. Ela possui como um importante marco a revolução industrial, que apesar de ter sido inicialmente voltada para otimização na obtenção de produtos de consumo individual por meio da mecanização do processo fabril, permitiu um desenvolvimento tecnológico, bem como um crescimento populacional nunca vistos outrora. Atualmente, têm-se como resultados, além de sociedades com demandas energéticas elevadas, a preocupação com a sustentabilidade dos recursos naturais.

Diante desse contexto, surge a necessidade de elaborar sistemas mais eficientes energeticamente, a fim de se reduzir os impactos ambientais causados. A relevância desse tema pode ser observada em instituições ao redor do mundo, nas mais diversas áreas do conhecimento. A Organização das Nações Unidas (ONU) (2015) tem para a agenda de 2030, por exemplo, o objetivo 11 para tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.

A Ordem dos Engenheiros (OE) (2016), por sua vez, cita como deveres do engenheiro para com a comunidade: defender o ambiente e os recursos naturais e procurar as melhores soluções técnicas ponderando a economia e a qualidade da produção ou das obras que projetar, dirigir ou organizar. Corrobora-se, pois, a urgência mundial na conservação de recursos, bem como a contenção dos impactos das mudanças climáticas do planeta.

Os benefícios na implementação de práticas de eficiência energética não são encontrados apenas nos âmbitos ambientais, mas também nos sociais e econômicos. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) lista a segurança energética, criação de novos empregos, conforto populacional, redução nos gastos governamentais com instituições de saúde pública e maior competitividade e produtividade na iniciativa privada como alguns dos benefícios gerais da eficiência energética

(EPE, 2017).

Outro benefício que pode ser citado é a economia nos custos operacionais das edificações, tanto na iniciativa privada, quanto na pública, o que resultaria na destinação de verbas economizadas para outras aplicações. O EPE (2018), mostra que, em 2017, 51% do consumo total de energia elétrica foi destinado para edificações, cuja composição foi de 26% para o setor residencial, 17% para o setor comercial e 8% para o setor público na composição do balanço energético nacional. Ademais, Pérez-Lombard, Ortiz e Pout (2008) estimam que cerca de 53% do consumo de energia no setor residencial nos Estados Unidos é voltado para o condicionamento, isto é tanto aquecimento, quanto resfriamento, dos espaços. O autor estima, também, que escritórios no EUA tem 48% do seu consumo destinado para sistemas de ar condicionado, enquanto o antigo Reino Unido e a Espanha, têm, respectivamente 55% e 52%.

O cenário atual mostra a importância, portanto, de implementar sistemas e equipamentos que promovam a eficiência energética, sobretudo, em edificações de grande porte, tendo em vista que nelas, os investimentos seriam mais facilmente retornados pela economia na operação dos sistemas de climatização e ventilação.

É inegável que a climatização de ambientes fechados, principalmente daqueles em que são desempenhadas atividades que necessitam de cognição, é crucial. Silva (2001) afirma que o conforto térmico dos ocupantes é um dos fatores que podem afetar a saúde e, conseqüentemente, a produtividade deles. Apesar disso, muitas vezes a questão da qualidade do ar interior é menos-prezada, o que pode implicar em problemas generalizados de saúde dos trabalhadores, daí surge termos como a síndrome dos edifícios doentes. Um importante contaminante que deve ser controlado em ambientes fechados é o CO_2 , uma vez que sua emissão ocorre naturalmente por meio das trocas gasosas dos seres humanos.

Observa-se, pois, que além de serem necessárias a boa elaboração e implementação do Plano de Operação, Manutenção e Controle (PMOC), no sistema de ar condicionado dos edifícios, mostra-se importante a utilização de ventilação forçada, tanto de exaustão, quanto de insuflamento, para a criação de ambientes saudáveis.

Desde 2019, a pandemia do COVID-19 tem assolado o mundo todo devido a sua alta taxa de transmissibilidade e porcentagem elevada de casos graves e críticos, que somados representam 20% dos diagnósticos, e por fim, às sequelas deixadas nos pacientes (PMBSF, 2022).

Visto que algumas das formas de contágio da doença ocorre por meio do ar ou contato com

as secreções de pessoas infectadas (MPCE, 2020), a promoção da ventilação forçada em, sobretudo, ambientes fechados, mostra-se como uma excelente solução de engenharia para reduzir a propagação da doença e proteger vidas humanas.

Apesar de necessário, sabe-se que o insuflamento de ar exterior, muitas vezes tido como limpo, acarreta no incremento de carga térmica (Valverde, 2016). Com isso, evidencia-se a importância de controle da vazão de ar exterior e recuperadores de energia como alternativas para promover economia no consumo de energia elétrica, mantendo-se o efeito útil de refrigeração, resultando em um sistema mais eficiente.

A implementação de recuperadores de energia na ventilação se mostra uma alternativa interessante, uma vez que pode acarretar economias significativas em ambientes com ocupação variável (Barbosa, 2017). Já os sistemas de controle alimentados por sensores de CO_2 permitem que os ventiladores de ar exterior, com maior temperatura de bulbo seco e umidade, operem em menor vazão, haja visto que uma maior quantidade de ar tratado previamente será recirculado, de maneira que os equipamentos operem em cargas parciais.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As questões relativas a consumo e economia de energia são temas de bastante relevância no atual cenário brasileiro, uma vez que o país foi posicionado como o décimo maior produtor de energia mundial, correspondendo ao total de 12.529.245 TJ em 2012 (EIA, 2023a), além de ser o nono maior consumidor, correspondendo a um total de 12.752.425 TJ em 2021, segundo dados da *U.S Energy Information Administration* (EIA) (2023b).

Somado a esse fato, o país apresenta uma elevada diversidade em sua matriz energética, de acordo com dados do EPE (2022), a oferta interna do país, para o ano de 2021, era dividida entre as seguintes fontes: hidráulica (56,8%), biomassa (8,2%), eólica (10,6%), solar (2,47%), carvão e seus derivados (3,9%), gás natural (12,8%), derivados de petróleo (3%) e nuclear (2,2%). Dessa forma, é possível observar que mais de 25% da matriz energética de um dos maiores geradores de energia do mundo é composta por soluções que envolvem a emissão direta de gases do efeito estufa, o qual causa severos impactos sobre o meio ambiente. Além disso, a obtenção de energia por meio de outras fontes intrinsecamente acarretam impactos ambientais. Diante desse contexto, devem ser tomadas medidas tanto para a diminuição do consumo das sociedades, quanto para o

aprimoramento das soluções existentes para alcançarem maiores níveis de eficiência.

De acordo com a Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency - IEA*) (2021), em 2020 cerca de 33% da energia mundial total foi destinada para as edificações e os seus respectivos sistemas de ar condicionado correspondem a pouco mais de um terço da energia gasta nesse setor. Vale ressaltar que os valores obtidos não representam a realidade da maioria dos países, haja vista que o uso dos sistemas AVAC está diretamente relacionado com as condições socioeconômicas e climáticas, como temperatura, umidade e iluminação natural, sob as quais as nações sujeitas (González-Torres et al., 2022).

Por se tratar de um setor de alta demanda energética, são conduzidos diversos estudos ao redor do mundo para se obter os resultados desejados de funcionalidade dos ambientes e saúde dos ocupantes, mediante a melhores níveis de eficiência, e, por conseguinte, menores gastos de energia, dinheiro e menores emissões. Dentre as alternativas listadas por Yang, Yan e Lam (2014), que envolvem direta ou indiretamente sistemas de climatização estão: i) projetos e construção de novas edificações com enfoque em envoltórias com menores taxas de infiltração e materiais com menor absorvidade e ii) controle dos sistemas AVAC e da iluminação.

A operação de sistemas em cargas parciais é imprescindível tanto para o conforto térmico dos ocupantes, quanto para a eficiência energética. Isso se deve ao fato de que equipamentos cuja operação não se dá de maneira modular estarão sempre entregando a carga térmica máxima de aquecimento ou resfriamento, mesmo que o ambiente não exija tal nível de demanda (Valverde, 2016), tornando o ambiente desagradável.

Dessa maneira, a operação em cargas parciais viabiliza economicamente a utilização de ventiladores recuperadores de calor (*heat recovery ventilators - HRVs*) e ventiladores recuperadores de energia (*energy recovery ventilators - ERVs*) entre o ar de insuflamento e o ar exaurido do ambiente, haja vista que é reduzida a carga térmica de ventilação de ar exterior. Uma vez atingidas as condições de conforto no ambiente condicionado, o uso desses ventiladores permite recuperar parte da energia contida no fluxo ar que deixa o ambiente por meio da troca de calor ou entalpia com o fluxo de ar exterior, de maneira a pré-aquecer ou pré-resfriar o ar antes do acondicionamento pela unidade evaporadora (Pérez-Lombard et al., 2011).

A distinção entre os HRVs e ERVs se dá pelas parcelas da energia recuperada. Os HRVs são capazes de recuperar apenas uma parcela sensível da energia contida no ar exaurido, também chamada de calor. Já os ERVs conseguem recuperar tanto a parcela sensível, quanto a parcela

latente da energia disponível no fluxo de ar. A combinação dessas parcelas é denominada na literatura de energia ou entalpia.

Historicamente, os primeiros sistemas desenvolvidos e estudos conduzidos visavam apenas a recuperação da energia sensível. Dentre os equipamentos pioneiros de recuperação de energia em ventilação estão os *exhaust air heat pumps* (EAHP) para o aquecimento de habitações suecas e alemãs, no final da década de 70, mediante o contexto de crise energética e novas regulamentações em edificações (Fehrm, Reiners e Ungemach, 2002).

Valverde (2016) lista dentre as soluções mais tradicionalmente usadas para troca de calor os trocadores do tipo de placas fixas (*fixed plates*), as rodas trocadoras de calor sensível (*sensible heat exchange wheels*), os tubos de calor (*heat pipes*) e circuito entre serpentinas (*run-around loop heat exchangers*).

Com o intuito de promover a economia de energia de sistemas de ar condicionado em edifícios de grande porte, Kim et al. (2012) definiram rotinas otimizadas de operação de dois recuperadores. Nesse estudo foram conduzidas duas metodologias distintas. A análise experimental foi conduzida em dois edifícios situados na Coreia do Sul: no primeiro deles, foi avaliado desempenho de um HRV durante o verão, enquanto o equipamento do segundo edifício foi avaliado durante o inverno. Ambas as edificações foram atendidas por sistemas de climatização individualizados enquanto a ventilação foi centralizada. Já a análise computacional foi realizada para corroborar a avaliação experimental e complementar com as avaliação em outras estações do ano. Ela foi realizada por meio do *software* TRACE 700, no qual foram simuladas diversas rotinas de operação.

Os resultados apontaram que os equipamentos apresentam melhores resultados quando os fluxos de ar possuem maiores diferenças de temperatura. Além disso, as simulações computacionais mostraram que é possível atingir economias anuais de até 9,45% em aplicações de aquecimento; enquanto as de resfriamento de ar, de até 8,8%, para operação integral.

Apesar do interesse na aplicação dos HRVs em ambientes, sobretudo, nos quais são desempenhadas atividades profissionais e deliberações políticas, a utilização em instalações residenciais vem sendo estudada e auxilia na economia energética do setor.

Li, Wild e Rowe (2019) avaliaram o desempenho teórico de um recuperador sensível aliado a uma bomba de calor em apartamentos simulados em quinze cidades canadenses. Para estimar o efeito do HRV, foram elaborados modelos na extensão TRNSYS para o *software* SketchUp, os

quais simularam o consumo de energia dos apartamentos em dois cenários distintos. Ambos os cenários foram constituídos por uma suíte residencial, cujo condicionamento do ar é realizado por uma bomba de calor, porém eles se diferenciam pelo fato de que o primeiro cenário conta com o HRV; enquanto o segundo, não.

As simulações apontaram que a utilização do recuperador sensível em todos os cenários de aquecimento promoveu a redução do consumo de energia elétrica. Além disso, os equipamentos situados nas cidades de climas mais gelados possuem maior potencial de economia, resultando em menor tempo para o retorno do investimento destinado para a implementação do HRV. Vale ressaltar que o primeiro resultado encontrado pode estar relacionado com o fato de que a diferença de temperatura entre os fluxos de ar é mais elevada em climas gélidos, corroborando com a conclusão do estudo realizado por Kim et al. (2012).

Apesar dos bons níveis de economia no consumo de energia, percebe-se que há uma parcela latente contida no fluxo de ar exaurido que está sendo desperdiçada. Assim, diversos estudos estão sendo conduzidos para avaliar o desempenho dos recuperadores entálpicos.

Choi e Kim (2019) avaliaram experimentalmente os efeitos de recuperadores de energia no sistema de ar condicionado de salas de aula na Coreia do Sul. Com o ERV instalado, foram realizadas medições de consumo de energia durante um período de quatro horas. O sistema de ar condicionado contou com um *setpoint* de 22°C para o ambiente interno, enquanto o ambiente externo apresentava uma temperatura média de 5°C. As medições realizadas, após calibrações, apontaram que houve uma economia de até 19,44%.

Para avaliar o impacto de recuperadores entálpicos no consumo de energia em climas mais gélidos, Li, Zmeureanu e Ge (2021) conduziram simulações computacionais do sistema de ar condicionado com e sem a utilização de ERV para residências situadas em quatro diferentes cidades canadenses. Inicialmente, foi desenvolvido um modelo padrão de residência no *software* TRNSYS, no qual foi escolhido um sistema de aquecimento hidrônico pelo chão, somados a aquecedores elétricos e reservatório de água. No sistema de recuperação foi utilizado um ERV, com valores de 67% e 46% de eficiência sensível e latente, respectivamente, mediante vazão de 57 L/s e temperatura do ar externo de 0°C. Os resultados das simulações mostraram que a utilização de ERVs permitiu uma economia de até 25,7% no consumo de energia, quando comparada com sistemas de aquecimento comuns.

Embora a climatização seja imprescindível para promover um ambiente de trabalho produtivo,

muitas vezes a questão da qualidade do ar é colocada em segundo plano pelos estabelecimentos, visto que, na grande maioria dos casos, as consequências negativas apenas são percebidas após grandes períodos de exposição.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define ar interior de qualidade aceitável como: "ar que não contém poluentes em concentração prejudicial à saúde ou ao bem-estar e é percebido como satisfatório por grande maioria (80% ou mais) dos ocupantes do recinto". Dessa forma, é necessário garantir alguma forma de controlar a concentração e, se possível, criação desses contaminantes químicos, biológicos e físicos. Para reduzir a concentração de poluentes, a NBR 16401-3 (2008) utiliza do artifício da ventilação de ar exterior em todos os tipos de ambientes, sendo necessário que o projetista atenda a vários critérios na sua captação. Em aplicações em que o ar de renovação é suprido por meio de ventilação mecânica, é possível fazer uso de elementos filtrantes de diferentes capacidades de retenção de particulados, mediante uma boa rotina de manutenção.

Apesar dos atuais valores de vazão de ar exterior estabelecidos pelas normas atenderem à demanda necessária para promover a saúde das pessoas, nem sempre essa condição foi satisfeita. Pouco depois da metade do século XX, a crise do petróleo fez com que os países fossem obrigados a ajustar a taxa de ventilação de externo, para aproximadamente $8 \text{ m}^3/\text{h}$ (Valverde, 2016). Essa ventilação ineficiente somada à falta de manutenção dos sistemas AVAC e utilização imprópria de seus equipamentos foram listadas por Martins (2018), como responsáveis por mais de metade dos casos da síndrome do edifício doente, em que diversos indivíduos apresentam doenças específicas, em razão da baixa qualidade do ar.

Entre os principais fatores responsáveis pela QAI se manter a níveis inadequados, sobretudo em edificações com escritórios, Seppanen e Fisk (2002) citaram os sistemas AVAC, que integram o aquecimento, a ventilação e o condicionamento de ar.

Mendell et al. (1996) conduziram estudos para relacionar a persistência dos sintomas causados por essa síndrome com o tipo de solução abordada para a ventilação de edifícios comerciais com escritórios. O estudo foi conduzido em escritórios públicos em São Francisco, durante o período de quatro meses, por meio de três cenários de ventilação: i) natural; ii) mecânica; iii) pelo ar condicionado. Os resultados mostraram que para sintomas como pele seca ou coceira, a ventilação mecânica a razão de probabilidade é de 6; enquanto para problemas respiratórios leves, a razão é de 2,9 para ventilação mecânica, e 4 para o sistema de ar condicionado.

Graudenz et al. (2005) realizaram um estudo semelhante na cidade São Paulo, com o intuito de comparar os efeitos de ambientes condicionados com ambientes de ventilação natural. Para isso, foram comparados dois grupos: i) 2000 funcionários, dispersos em diversos prédios pra escritórios sem a possibilidade de abertura das janelas e eram alimentados por um sistema de ar condicionado em condições padrões de operação e operação, cujo ar foi testado e apresentou-se dentro dos limites toleráveis de qualidade; ii) o segundo grupo, com 500 funcionários, que trabalhavam em prédios públicos, os quais era ventilados naturalmente, por meio das janelas e da envoltória. Vale ressaltar que em ambos os cenários foram abordados trabalhadores em período integral, além de que o ambiente possuíam características semelhantes de iluminação e revestimento do piso e não apresentaram a síndrome do edifício doente antes.

Os resultados mostraram que os ocupantes de ambientes condicionados apresentaram mais sintomas nasais, nasais-oculares e de sinusite. Através de tratamentos estatísticos dos dados, aponta-se que o sistema de ar condicionado possui maiores razões de chance (*odds ratio*, OR) de apresentarem sintomas nasais (OR = 1,59), nasais-oculares (OR = 1,58), sinusite (OR = 1,85) e tosse constante (OR = 3,04).

Desse modo, é possível observar que a saúde e produtividade dos ocupantes de ambientes fechados está diretamente relacionado com a QAI, uma vez que a redução das taxas de ventilação de ar exterior foi um dos principais responsáveis pelo aumento dos casos de SED.

Apesar dos benefícios citados, vazões elevadas de ar exterior acarretam o aumento não só da carga térmica dos sistemas de ar condicionado, mas também do consumo dos ventiladores. Portanto, para diminuir o consumo energético em edificações futuras, surge a necessidade de controlar as taxas de ventilação (Seppänen, 2012), uma vez que o nível de ocupação de ambientes é variável, de maneira que não exigem o suprimento máximo de ar exterior. Ademais, os projetos de ar condicionado superestimam o perfil de ocupação das instalações, sobretudo àquelas localizadas em edifícios comerciais (Roth, Dieckmann e Brodrick, 2003).

A ventilação controlada por demanda (VCD) regula as taxas de vazão de ar exterior de acordo com a necessidade apresentada pelo ambiente, medida por meio da ocupação ou da concentração de CO₂ (Merema et al., 2018). Uma alternativa econômica para avaliar o nível de ocupação de um ambiente é a utilização de sensores infravermelho, que também pode ser utilizado para controle de iluminação (Mysen et al., 2005).

Buscando avaliar os benefícios da VCD em comparação aos ventiladores sem a capacidade

de modular seu funcionamento, Mysen et al. (2005) conduziram estudos em escolas primárias norueguesas. Para tanto, selecionou-se 157 salas de aula, em 81 diferentes cidades situadas em Oslo. As salas de aula foram projetadas para uma ocupação máxima de 28 alunos e 2 professores, embora a ocupação média observada fosse de 22 ocupantes. Com isso, foram implementados três diferentes métodos de ventilação: ventilador com vazão constante, VCD com monitoramento por concentração de CO₂ (VCD-CO₂) e VCD com monitoramento ocupacional por sensores de infravermelho (VCD-IV). Os resultados mostraram que a economia média no consumo de energia foi de aproximadamente 38% para o sistema de VCD-CO₂ e 51% para o sistema VCD-IV, quando comparados com o sistema que fornecia a vazão constante máxima de projeto.

Diversos estudos já foram desenvolvidos no Brasil acerca da utilização de ERVs combinados com tecnologias de controle de vazão de ar exterior. Valverde (2016) estudou o impacto do uso de ERVs somado a tecnologias de controle da vazão de ar exterior sobre sistemas de ar condicionado em um auditório simulado em Brasília e em Manaus. O estudo foi conduzido por meio de simulações computacionais realizado no *software* Engineering Equation Solver (EES) e análise de custo benefício em quatro diferentes cenários: i) sistemas de ar condicionado tradicionais; ii) sistema de ar condicionado com uso de controle de vazão de ar exterior; iii) sistema tradicional com a implementação de ERV; iv) uso combinado de controle de vazão de ar exterior e ERV. Observou-se que o uso exclusivo do ERV, promoveu uma economia de 20,13% no consumo de energia elétrica, contra os 12,3% de economia do controle de vazão de ar exterior, além de um retorno de investimento bastante inferior, de 1,64 anos, contra 9,28 anos em comparação com o segundo cenário.

Embora o uso do ERV tenha se mostrado mais eficiente, a utilização de ambas as tecnologias mostra-se viável, haja vista que o quarto cenário simulado apresentou uma economia de 29,24% no consumo de energia, com o retorno de investimento ligeiramente superior a 3 anos.

Martins (2018) deu continuidade ao estudar o impacto de ERVs no clima brasileiro. O autor conduziu um estudo sobre os possíveis benefícios na implementação de tecnologias de ERV, controle da vazão de ar exterior e free cooling sobre o sistema de ar condicionado padrão do plenário Ulysses Guimarães, na Câmara dos Deputados, em Brasília. A metodologia baseou-se em simulações computacionais simuladas no OpenStudio para o cálculo de carga térmica e consumo de energia em cinco diferentes cenários: i) solução convencional de climatização e ventilação; ii) solução com controle de vazão de ar exterior; iii) solução convencional com dispositivo ERV; iv) solução conjunta das duas tecnologias citadas nos cenários anteriores; e por fim v) solução

com free cooling associado à vazão variável. Os resultados apontaram, quando comparado com a solução tradicional, uma economia de 3,1% no consumo energético para o sistema com ERV, o qual apresentou a menor economia dentre todos os cenários, mas apresentou uma redução de 6,5% na carga térmica, a maior dentre todos os cenários. Embora o uso isolado do ERV não tenha se mostrado o mais favorável dentre as opções citadas no quesito de economia de energia, o uso combinado de ERV e controle da vazão de ar exterior apresentou bons resultados para economia de energia, de 11,2%, e redução da carga térmica, 6,4%. Novamente, a combinação de tecnologias ao uso de ERVs mostrou-se promover a obtenção de sistemas de ar condicionado mais eficientes.

1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho objetiva conduzir estudos para analisar o impacto da implementação de sistemas de recuperação de energia na ventilação e do controle na vazão de ar exterior no esquema de ar condicionado para o Plenário 2, do Anexo II da Câmara dos Deputados, Brasília - DF, de forma a quantificar a economia no consumo de energia elétrica.

A análise será conduzida por meio de simulações computacionais, no *software* DesignBuilder, em diferentes cenários, constituídos pela combinação e ausência dos sistemas citados. Tal estudo visa conciliar os parâmetros adequados de qualidade do ar interior (QAI) com a economia de energia e a possível redução de potência instalada no plenário.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia implementada no presente trabalho consiste, inicialmente, em criar o modelo computacional do ambiente em estudo por meio da modelagem de sua zona térmica através da extensão do OpenStudio, que utiliza o EnergyPlus, do *software* SketchUp. Posteriormente, foi utilizado o *software* DesignBuilder para simular o consumo energético, dimensionamento dos equipamentos de climatização e concentração de CO₂ do ambiente, dentre outras informações fornecidas pelo EnergyPlus.

Na modelagem feita, serão adicionados importantes parâmetros que envolvem a localização, constituição da envoltória do plenário, os equipamentos elétricos que dissipam energia para o ambiente, a carga intrínseca aos ocupantes, mediante o perfil de ocupação e tipo atividade e

definições dos sistemas de climatização e ventilação implantados atualmente.

As simulações do plenário elencarão quatro diferentes cenários: i) o primeiro cenário representa o sistema atual, em que não há o controle do nível de vazão de ar exterior e recuperação de energia; ii) o segundo faz uso de sistemas de controle da vazão de ar exterior, sem a utilização de recuperação de energia; iii) o terceiro implementa apenas o recurso de recuperação de energia entre os fluxos de insuflamento e retorno de ar; iv) o quarto cenário combina ambas as tecnologias, isto é, de recuperação de energia e vazão de ar exterior variável.

A partir dos resultados obtidos pelos diferentes cenários simulados, serão conduzidas análises sobre o impacto das tecnologias no consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar, bem como a comparação dos diferentes cenários.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O capítulo 1 aborda uma visão geral sobre o tema proposto, evidencia a relevância de sua discussão, apresenta uma revisão bibliográfica sobre conceitos de eficiência energética, qualidade do ar interior, recuperadores de energia em ventilação e controle da vazão de ar exterior, além de apresentar os objetivos desse trabalho, a metodologia aplicada e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 apresenta uma revisão conceitual acerca de eficiência energética, além de abordar a norma internacional ASHRAE 90.1, que regula importantes aspectos de eficiência em edificações. Por fim, apresenta aspectos relevantes sobre dois dos programas de certificação em edificações com maior relevância internacional, LEED e BREEAM.

O capítulo 3 se atém a apresentar uma visão geral dos recuperadores de calor, evidenciando a diferença crucial entre HRVs e ERVs, seus aspectos construtivos e as relações termodinâmicas que regem a eficiência desses equipamentos.

O capítulo 4 evidencia importantes aspectos sobre a ventilação de ar exterior, abordando sua utilização como meio de promover a qualidade do ar interior, apresenta os importantes mecanismos pelos quais ela pode ocorrer e ser controlada e, por fim, as normas brasileiras que regem esses tópicos.

O capítulo 5 descreve o sistema modelado no DesignBuilder, explicando as estratégias de cálculo e controle dos subsistemas que constituem o modelo.

O capítulo 6 apresenta o estudo de caso, de maneira a mostrar as características da edificação que impactam o sistema de climatização e ventilação do plenário, além de apresentar os parâmetros utilizados na modelagem para o cálculo de carga térmica.

O capítulo 7 apresenta os resultados das simulações dos diferentes cenários propostos, mostrando a curva de carga térmica para a semana em que há o pico anual, a concentração de CO₂ no ambiente legislativo e, por fim, a demanda de energia elétrica do sistema de ar condicionado. Ao final do capítulo, é feita a comparação entre os resultados obtidos nos diferentes cenários.

Já o capítulo 8 apresenta a análise econômica para a implementação das tecnologias apresentadas nos diferentes cenários, mostrando os custos intrínsecos e o tempo de retorno de investimento.

Por fim, no último capítulo estão dispostas as conclusões dos resultados obtidos nas simulações e na análise de viabilidade. Ademais, são apresentadas propostas para trabalhos futuros baseados nesse Projeto de Graduação.

2 REVISÃO CONCEITUAL

Este capítulo aborda e revisa a questão da eficiência energética no Brasil, por meio de uma breve contextualização histórica, apresentando os resultados de programas governamentais e as instituições e órgãos responsáveis. Posteriormente, é apresentada a norma internacional que relacionou e especificou questões relativas à eficiência energética em edificações. Sequencialmente, foi discutido a relevância de programas de certificação em edificações e dois dos principais programas existentes.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

A questão da eficiência energética no Brasil vem sendo discutida desde a década de 80. O debate levantado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), em 1984, estimulou a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem, exigindo que os fabricantes fornecessem e evidenciassem características importantes de desempenho de seus produtos. A adoção desse programa resultou, de maneira indireta, no desenvolvimento de produtos mais eficientes, uma vez que a conscientização dos consumidores os levou a comprarem de maneira racional (EPE, 2017; Ministério da Economia, 2021).

No ano seguinte, foi instituído o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), ele surgiu com o intuito de evitar o desperdício e promover o uso consciente dessa forma de energia (MME, 2023). De maneira análoga, foi desenvolvido pela Petrobrás, no ano de 1991, o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet), com enfoque nos combustíveis fósseis (Ministério da Economia, 2021). Posteriormente, ambos os programas contaram com um sistema de utilização de selos em produtos.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio da Lei 9.991, de 24 de Julho de 2000, cria o Programa de Eficiência Energética (PEE), com o intuito de promover o crescimento de setor elétrico, através do investimento em pesquisa e desenvolvimento, financiado por uma pequena porcentagem (de 0,5%) proveniente da receita líquida (MME, 2022).

Em 2007, foi lançado o Plano Nacional de Energia (PNE) DE 2030 que se trata de um com-

pilado de estudos que objetiva reunir dados para que seja possível criar políticas públicas para o planejamento a longo prazo do setor energético (EPE, 2007). Em razão da meta do PNE em economizar 10% no consumo de energia elétrica, Martins (2018) cita a utilização de sistemas energéticos mais eficientes como maneira de atingir esse objetivo. Como parte dos futuros lançamentos previstos pelo PNE 2030, estava o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), o qual está sendo elaborado, com o intuito de atingir as metas de eficiência estipuladas.

Dessa maneira, é possível observar que o Brasil tem feito uso de diversas políticas públicas e investindo recursos em diversos planos, que têm apresentado sucesso, para promover equipamentos e instalações mais eficientes, reduzindo o impacto ambiental. Em razão da grande parcela de energia elétrica ser gasta para a climatização e ventilação de edificações, para reduzir ainda mais o consumo, deve ser seguida a norma *Standard 90* da ASHRAE, que estabelece critérios para a eficiência em instalações termomecânicas. Ademais, há modelos de edificações, como os *Net Zero Energy Building* que podem ser eleitos no país, e certificações internacionais para promover a sustentabilidade no setor da construção civil.

2.2 ASHRAE 90.1

A ASHRAE *Standard 90* é uma norma norte americana publicada inicialmente nos anos de 1975, que definiu requisitos para eficiência energética e aspectos construtivos de novos estabelecimentos, passando por diversas alterações ao passar dos anos para se adequar às novas tecnologias e melhorar aspectos relacionados às questões energéticas. (Knijnik, 2011). Na atualização publicada no ano de 1989, ASHRAE *Standard 90.1*, já foram abordados sistemas constituintes de instalações, como a envoltória que as compõem, os seus sistemas AVAC, de iluminação, equipamentos e seus motores elétricos (Knijnik, 2011). Na atualização de 2010, a norma apresentou significativos avanços no campo da climatização, definindo novos critérios para ventilação, recuperação de energia, sistemas de exaustão de ar (Valverde, 2016).

A norma estabelece os requisitos mínimos de eficiência energética que edificações devem atingir nos seus projetos, construção, planos de operação e manutenção, além do uso de energias renováveis (ASHRAE 90.1, 2019). A aplicabilidade dela é obrigatória, sobretudo, para equipamentos e sistemas de novas edificações e para mudanças físicas ou de sistemas de edificações já existentes. Apesar disso, ela não é válida para residências de pequeno porte ou instalações que usam fontes de energia alternativas à eletricidade e combustíveis fósseis. Dentre os principais tó-

picos e aspectos relevantes abordados pela norma estão a envoltória, sistemas AVAC, aquecimento de água, iluminação, energia e outros equipamentos.

2.3 NET ZERO ENERGY BUILDINGS

Diante da necessidade de minimizar o consumo energético das edificações e promover a conservação dos bens naturais, surgem as edificações do tipo *Net Zero Energy Building* ou *Nearly Zero Energy Building* (NZEB), que são edificações com eficiência energética elevada, dotadas de mecanismos de reaproveitamento ou geração de energia, de maneira a produzir um balanço energético nulo ou quase nulo.

Ademais, esse tipo de edificação, que tem ganhado destaque principalmente em projetos na Europa e nos Estados Unidos, tem como destaque a utilização de fontes de energia renováveis, a fim de mitigar o consumo de combustíveis fósseis.

Os projetos de edificações NZEB exigem profissionais de diversas áreas de conhecimento (Teixeira, 2018), uma vez que são abordados: aspectos arquitetônicos para mecanismos passivos de aproveitamento de iluminação solar e ventilação natural; o desenvolvimento de materiais para a envoltória com melhor conservação de calor e menor infiltração; projetos de sistemas AVAC mais eficientes para assegurar a QAI e conforto térmico dos ocupantes, mediante a menor penalização energética possível; desenvolvimento de projetos de iluminação eficientes; utilização de equipamentos mais eficientes; e projetos de geração de energia proveniente de fontes renováveis.

Conforme foi observado, os sistemas de ar condicionado são um importante pilar dentre os projetos de edificações NZEB. Apesar de promover a funcionalidade do ambiente por meio do conforto térmico, os sistemas AVAC são responsáveis por uma grande parcela no consumo de energia, sobretudo em regiões com condições climáticas mais severas.

Diante desse contexto, tecnologias de recuperação de calor, como HRVs e ERVs, vêm ganhando destaque, haja vista que reaproveitam a energia contida no ar de exaustão para o pré-condicionamento do ar de insuflação dos ambientes, de maneira a reduzir o consumo energético. Mostram-se, portanto, como uma valiosa estratégia em edificações NZEB (Yamamoto, Valverde e Pimenta, 2023).

2.4 PROGRAMAS DE CERTIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÕES

Os programas de certificação são métodos avaliativos de novas ou já existentes edificações quanto ao desempenho ambiental e à sustentabilidade dessas construções. A obtenção das certificações exigem uma minuciosa avaliação dos aspectos construtivos e operacionais, beneficiando o gasto consciente e otimizado de recursos, tratamento dos resíduos gerados, redução das emissões e promoção da saúde e do bem estar dos ocupantes.

Além da promoção de sociedades que demandam menos recursos e diminuição dos impactos ao meio ambiente, que é o objetivo principal das certificações, as construtoras e os proprietários também são beneficiados. Destacam-se os seguintes benefícios: redução do consumo energético e, por consequência, os custos operacionais das edificações; promover a saúde dos ocupantes; agregar valor comercial às edificações e demonstração do posicionamento dos interessados quanto às questões ambientais (UGREEN, 2023).

Diante desse contexto, a implementação de dispositivos recuperadores de energia, como ERVs e de sistemas modulares de ventilação está alinhada com os objetivos dessas certificações, haja vista que os sistemas AVAC-R são responsáveis por grande parte do consumo energético de edificações. Isso é corroborado pelo fato de que alguns programas beneficiam a pontuação direta e indiretamente sistema de condicionamento de ar que fazem uso de tais recursos.

2.4.1 LEED

Atualmente, um dos programas de certificação para edificações com maior destaque internacional é o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), criado pela organização *United States Green Building Council* (USGBC). O LEED é definido como um sistema de orientação ambiental e ferramenta de certificação que objetiva a adoção de práticas sustentáveis de edificações durante o projeto, construção e vida útil das instalações (GBC Brasil, 2017). De acordo com a *Green Building Council* Brasil (GBC Brasil), a certificação está presente em mais de 160 países e os benefícios do LEED são observados nos âmbitos econômicos, ambientais e sociais.

A certificação compreende quatro diferentes tipologias, abordando-as de maneiras diferente: i) novas edificações e grandes reformas; ii) escritórios comerciais e lojas de varejo; iii) empreendimentos existentes; e iv) bairros. (GBC Brasil, 2017). Essas tipologias analisam diferentes nove áreas da edificação, com suas respectivas pontuações máximas para novas construções:

1) Processo Integrado	1 ponto;
2) Localização e Transporte	16 pontos;
3) Terrenos Sustentáveis	10 pontos;
4) Eficiência Hídrica	11 pontos;
5) Energia e Atmosfera	33 pontos;
6) Materiais e Recursos	13 pontos;
7) Qualidade do Ambiente Interno	16 pontos;
8) Inovação	6 pontos;
9) Prioridade Regional	4 pontos.

Dentro de cada uma das 9 áreas, há um conjunto de aspectos avaliados, que variam de acordo com o tipo de instalação. Apesar disso, a pontuação máxima que pode ser obtida na certificação LEED é de 110 pontos. Dentre as possíveis certificações possíveis de serem atingidas estão: i) LEED Certified (40-49 pontos); ii) LEED Silver (50-59 pontos); iii) LEED Gold (60-79 pontos) e; iv) LEED Platinum (80+ pontos).

2.4.1.1 Impacto da utilização de ERV e VCD na certificação LEED

A utilização de tecnologias de recuperação de energia e ventilação de ar exterior controlada por demanda de CO₂ contribui para o conforto térmico e saúde dos ocupantes, além de promover a redução de consumo energético, o que contribui para menor nível de emissão de gases do efeito estufa. Dessa forma, a pontuação LEED beneficia direta e indiretamente sistemas que utilizam essas tecnologias, de acordo com a Tabela (2.1).

Tabela 2.1: Pontuação LEED referente à utilização de VCD e Recuperação de Energia.

Categoria LEED	Descrição	Requisitos	Pontuação Máxima
Energia e Atmosfera EA - Crédito 2	Desempenho energético otimizado	Opção 1 – Conformidade com o desempenho energético; Opção 2 – Conformidade prescritiva: ASHRAE Advanced Energy Design Guide; Opção 3 – Otimizações do sistema.	1-18 Pontos

Qualidade do Ambiente Interno EQ - Crédito 1	Estratégias de aprimoramento da qualidade do ar interior	Utilizar 3 estratégias (1 Ponto) ou 6 estratégias (2 pontos): 1. Entryway Systems; 2. Conter contaminação interna cruzada; 3. Filtragem do ar exterior; 4. Filtragem do ar de recirculação; 5. 15 % de ventilação de ar externo; 6. 30 % de ventilação de ar externo; 7. Janelas manuseáveis; 8. Projeto de ventilação natural; 9. Monitoramento de CO2.	1-2 Pontos
Qualidade do Ambiente Interno EQ - Crédito 5	Conforto térmico	Projeto e modulação de sistemas voltados para conforto térmico.	1 Ponto
Qualidade do Ambiente Interno EQ - Crédito 3	Estratégias de aprimoramento da qualidade do ar interior	Desenvolver e implementar um plano de gestão da qualidade do ar interior (QAI) para as fases de construção e ocupação do edifício.	2 Pontos
Inovação In - Crédito 1	Estratégias de aprimoramento da qualidade do ar interior	Alcançar desempenho ambiental significativo e mensurável usando uma estratégia não abordada no sistema de classificação de edifícios verdes LEED. (Utilização de ERVs)	1-3 Pontos

Fonte: Elaboração do autor com base em USGBC (2023).

2.4.2 BREEAM

Outro programa de destaque internacional, sobretudo na Europa, em certificação para edificações é o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), criado pela organização *Building Research Establishment* (BRE), implantado em mais de 80 países, abrangendo mais de 593 mil edifícios (Notícias ao Minuto, 2021). O BREEAM é definido como o sistema para validar e certificar o projeto, obra e operação otimizada de ambientes sustentáveis, pioneiro em mitigar os impactos ambientais causados pelo setor da construção civil (Alpin, 2022).

A certificação compreende seis diferentes tipos de projetos: i) edifícios comerciais - escritórios, plantas industriais e comércios; ii) edifícios públicos - ambientes jurídicos, escolas, hospitais, universidades e prisões; iii) Acomodações multi-residenciais iv) projetos internacionais;

v) Comunidades; e; vi) projetos de infraestrutura. (Build Energy, 20–). Os diferentes tipos de projetos têm o seu desempenho avaliado em doze principais áreas, cujos critérios envolvem nível de impacto acarretados, emissão de dióxido de carbono, durabilidade e resiliência, adaptação às mudanças climáticas, valor ecológico e proteção da biodiversidade:

- 1) Energia;
- 2) Uso da terra e ecologia;
- 3) Materiais;
- 4) Poluição;
- 5) Desperdício;
- 6) Água;
- 7) Saúde e bem-estar
- 8) Transporte;
- 9) Gerenciamento;
- 10) Inovação;
- 11) Resiliência;
- 12) Recursos.

O sistema avalia os diversos aspectos intrínsecos às áreas listadas e cedem créditos, assim cada área tem a sua pontuação ponderada e determina-se a pontuação final, que pode ser de 0 a 100%, de maneira que a edificação é classificada em uma das seguintes categorias: i) Desclassificado - *Unclassified* (< 30%); ii) Aprovado - *Pass* ($\geq 30\%$); iii) Bom - *Good* ($\geq 45\%$); iv) Muito Bom - *Very Good* ($\geq 55\%$); v) Excelente - *Excellent* ($\geq 70\%$) e; vi) Excepcional - *Outstanding* ($\geq 85\%$). Dentre as etapas para obtenção da certificação BREEAM, têm-se: a etapa de teste, certificação e verificação de diversos parâmetros que envolvem as edificações.

A utilização de ventiladores recuperadores de energia e a implementação de sistemas modulares de ventilação com base em níveis aceitáveis de CO₂ também podem contribuir para maiores pontuações na classificação BREEAM. A certificação exige que sejam testados parâmetros intrínsecos à qualidade do ambiente interior, como qualidade do ar, ventilação de ar exterior e recirculado e o conforto térmico dos ocupantes, os quais estão diretamente relacionados à utilização das tecnologias em estudo.

3 RECUPERAÇÃO DE ENERGIA SENSÍVEL E/OU LATENTE

O presente capítulo apresenta os princípios de funcionamento, aspectos construtivos e relações termodinâmicas que regem os ventiladores recuperadores de calor e energia, além de destacar as principais diferenças entre eles.

3.1 VISÃO GERAL

Uma excelente maneira de diminuir a carga térmica da ventilação é fazer o pré-condicionamento do ar de renovação, de maneira que suas condições psicrométricas se aproximem das condições desejadas para os ambientes atendidos pelos sistemas AVAC. Desse modo, é possível fazer uso de recuperadores de calor ou energia, de maneira a garantir a qualidade do ar interior e o conforto térmico dos ocupantes.

Esses equipamentos permitem a troca de energia entre o fluxo de ar proveniente do ambiente externo com o ar que é exaurido dos ambientes internos. Em aplicações de aquecimento, o ar exterior, que possui menor temperatura, pode ser aquecido pelo fluxo de ar exaurido do ambiente, que se possui parâmetros muito próximos da zona aquecida, com isso ocorre um pré-aquecimento do ar, diminuindo a demanda do ar-condicionado. Já para aplicações de resfriamento, o ar captado externamente é pré-resfriado pela vazão de ar exaurido.

O reaproveitamento dessa energia é regido pela eficiência na troca de calor entre os fluxos de ar dos ventiladores, os quais podem recuperar apenas energia sensível, que é o caso dos *Heat Recovery Ventilators* (HRVs), ou a energia sensível e latente, que correspondem aos *Energy Recovery Ventilators* (ERVs).

A utilização desses ventiladores pode ser dividida em três tipos de aplicação: conforto para conforto, conforto para processo e processo para processo. Aplicação de conforto para ar condicionado é definida como "[...] processo de condicionamento de ar objetivando o controle de sua temperatura, umidade, pureza e distribuição no sentido de proporcionar conforto aos ocupantes do recinto condicionado" (Stoecker e Jones, 1985). Já as aplicações de processos incluem "[...]

aquecimento, [...] radiação térmica e regulação de velocidade e qualidade do ar, incluindo a remoção de partículas e vapores” (Stoecker e Jones, 1985).

Ademais, o tipo de aplicação pode ser um importante critério para a escolha entre recuperadores de calor e entálpicos. Dentre os cenários mais favoráveis para a utilização de um HRV, Valverde (2016) lista, geralmente aplicações de processo para processo, quando a carga latente da edificação é alta o ano inteiro e a umidade do ar externo é baixa, piscinas, exaustões químicas, cabines de pintura, dentre outros. O autor ainda afirma que a utilização de ERVs mostra-se mais benéfica quando a umidade do ar está baixa, escolas, escritórios, residências, dentre outras.

3.2 HEAT RECOVERY VENTILATORS - HRVS

Os recuperadores de calor (ver Figura 3.1), como foi mencionado anteriormente, são equipamentos capazes de trocar calor na forma sensível entre fluxos de ar. Esses equipamentos são compostos pelos seguintes componentes:

- Núcleo do trocador de calor;
- Dutos para a condução dos fluxos de ar;
- Controladores de temperatura e umidade;
- Elementos filtrantes;
- Ventiladores;
- Dreno de condensado;
- Mecanismos de prevenção de congelamento e pré-aquecimento.

O funcionamento dessa tecnologia baseia-se na admissão de fluxos de ar ou gases que seriam rejeitados após aplicações de conforto ou de processo. Na Figura 3.1 está representada uma aplicação de conforto, em que o ar exterior é admitido e pré-condicionado, para ser insuflado em um ambiente fechado.

Há diversos mecanismos utilizados para a troca de calor, os tipos mais comuns de HRVs são: os trocadores com placas fixas, as rodas de calor, os tubos de calor, o bombeamento de fluido em serpentina, a termofissão e as torres gêmeas (Valverde, 2016).

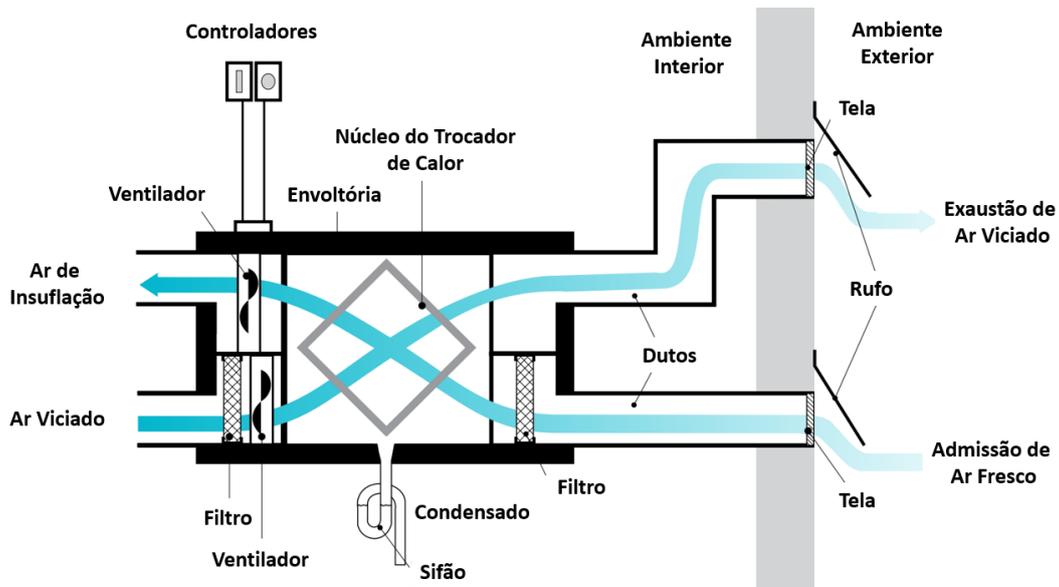


Figura 3.1: Representação esquemática do sistema de um HRV tradicional (OEE, 2012. Modificado).

3.2.1 Relações termodinâmicas

A quantidade de calor recuperado em um HVR pode ser avaliado mediante a sua eficiência sensível. Na termodinâmica é possível definir a eficiência sensível de acordo com a Equação (3.1).

$$\varepsilon = \frac{\text{Transferência real de calor}}{\text{Transferência máxima possível de calor}} \quad (3.1)$$

A norma ANSI/ASHRAE *Standard* 84-2013 quantifica a eficiência sensível com base nas condições dos fluxos de ar, como mostra a Equação (3.2).

$$\varepsilon_s = \frac{\dot{q}_s}{\dot{q}_{s,máx}} = \frac{\dot{m}_s c_{p,s} (T_1 - T_2)}{C_{mín} (T_1 - T_3)} = \frac{\dot{m}_e c_{p,e} (T_4 - T_3)}{C_{mín} (T_1 - T_3)} \quad (3.2)$$

Em que,

- ε_s é a eficiência sensível do HRV [-]
- $\dot{q}_{s,máx}$ é a taxa máxima de calor sensível trocado [kW]
- \dot{q}_s é a taxa de calor sensível trocado efetivamente [kW]
- \dot{m}_s é a vazão mássica do ar de suprimento [kg/s]
- \dot{m}_e é a vazão mássica do ar de exaustão [kg/s]
- $c_{p,s}$ é o calor específico do ar de suprimento à pressão constante [kJ/kg · K]

$c_{p,e}$	é o calor específico do ar de exaustão à pressão constante	$[kJ/kg \cdot K]$
C_{min}	é a menor taxa de capacidade térmica	$[kJ/K \cdot s]$
T_1	é a temperatura do ar de alimentação que adentra o HRV	$[^{\circ}C]$
T_2	é a temperatura do ar de alimentação que deixa o HRV	$[^{\circ}C]$
T_3	é a temperatura do ar exaurido que adentra o HRV	$[^{\circ}C]$
T_4	é a temperatura do ar exaurido que deixa o HRV	$[^{\circ}C]$

O valor de C_{min} é definido como o menor valor entre a multiplicação dos calores específicos a pressão constante do ar de admissão ou exaustão e as suas respectivas vazões mássicas, isto é:

$$\dot{m}_s c_{p,s} < \dot{m}_e c_{p,e} \Rightarrow C_{min} = \dot{m}_s c_{p,s} \quad (3.3)$$

ou

$$\dot{m}_e c_{p,e} < \dot{m}_s c_{p,s} \Rightarrow C_{min} = \dot{m}_e c_{p,e} \quad (3.4)$$

Vale ressaltar que as Equações são válidas para situações em que é possível considerar que os recuperadores de calor atuam sob regime permanente, não recebem calor da vizinhança, não há vazamentos no sistema e a transferência de umidade é desprezível. De acordo com Valverde (2016) essas considerações são válidas para a grande maioria dos HRVs em aplicações comerciais.

3.3 ENERGY RECOVERY VENTILATORS - ERVS

Os recuperadores de energia ou entálpicos (ver Figura 3.2), por sua vez, são equipamentos capazes de trocar calor latente, pela vaporização da umidade contida nos fluxos de ar, e latente, por meio da diferença de temperatura entre os fluxos. Apesar dessa importante diferença, os aspectos construtivos dos ERVs e dos HRVs são bastantes semelhantes, porém utilizam materiais permeáveis. Os tipos mais comuns de ERV são os de membranas fixas permeáveis e as rodas entálpicas.

Eles são compostos por:

- Dutos para a condução dos fluxos de ar;

- Controladores de temperatura e umidade;
- Elementos filtrantes;
- Ventiladores;
- Dreno de condensado;
- Mecanismos de prevenção de congelamento e pré-aquecimento.

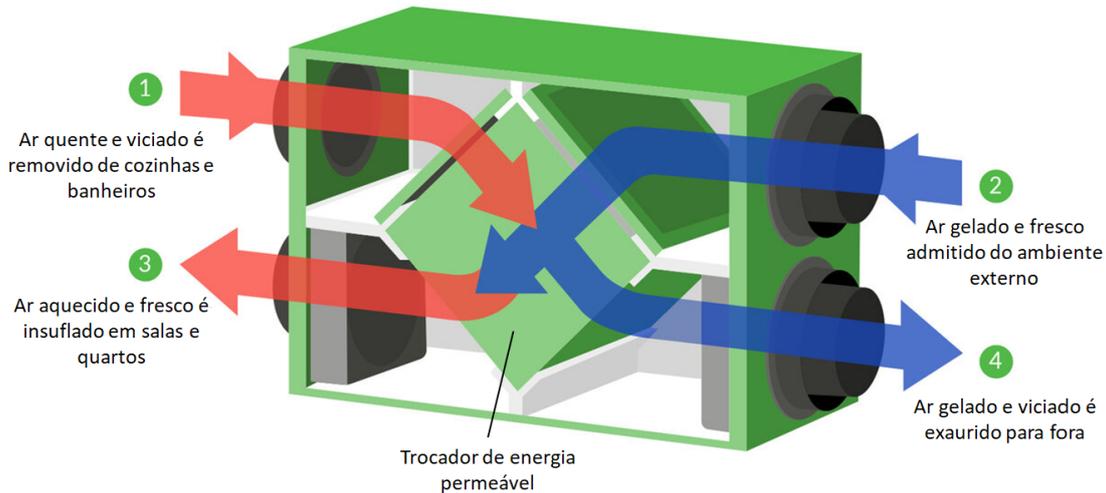


Figura 3.2: Representação esquemática do sistema de um ERV tradicional (Desing Experts, 2022. Modificado).

Barbosa (2017) ressalta que muitas vezes a troca de energia latente pode ocorrer em sentidos contrários, em razão do diferencial de pressão de vapor.

3.3.1 Relações termodinâmicas

Conforme mencionado anteriormente, os ERVs são capazes de recuperar tanto a energia latente quanto a sensível presente nos fluxos de ar. Nesse sentido, a efetividade desse equipamento pode ser distinguido em três diferentes eficiências: a sensível, a latente e a total. A eficiência sensível pode ser avaliada da mesma forma que a dos HRVs, conforme a Equação (3.2).

Para quantificar a eficiência latente, quando assume-se que não há condensação no ERV (Valverde, 2016), utiliza-se a Equação (3.5).

$$\varepsilon_L = \frac{\dot{q}_L}{\dot{q}_{L,máx}} = \frac{\dot{m}_s h_{fg} (w_1 - w_2)}{\dot{m}_{mín} h_{fg} (w_1 - w_3)} = \frac{\dot{m}_e h_{fg} (w_4 - w_3)}{\dot{m}_{mín} h_{fg} (w_1 - w_3)} \quad (3.5)$$

Em que,

ε_L	é a eficiência latente do ERV	[-]
$\dot{q}_{L,máx}$	é a taxa máxima de calor latente trocado	[kW]
\dot{q}_L	é a taxa de calor latente trocado efetivamente	[kW]
\dot{m}_s	é a vazão mássica do ar de suprimento	[kg/s]
\dot{m}_e	é a vazão mássica do ar de exaustão	[kg/s]
$\dot{m}_{mín}$	é a menor vazão mássica entre \dot{m}_e e \dot{m}_s	[kg/s]
h_{fg}	é entalpia de vaporização da água	[kJ/kg]
w_1	é a umidade absoluta do ar de alimentação que adentra o ERV	[kg/kg]
w_2	é a umidade absoluta do ar de alimentação que deixa o ERV	[kg/kg]
w_3	é a umidade absoluta do ar exaurido que adentra o ERV	[kg/kg]
w_4	é a umidade absoluta do ar exaurido que deixa o ERV	[kg/kg]

Já para calcular a eficiência total da recuperação de energia de um ERV, utiliza-se as entalpias das massas de ar, fornecidas pela carta psicométrica, conforme a Equação (3.6).

$$\varepsilon_t = \frac{\dot{q}_t}{\dot{q}_{t,máx}} = \frac{\dot{m}_s (h_1 - h_2)}{\dot{m}_{mín} (h_1 - h_3)} = \frac{\dot{m}_e (h_4 - h_3)}{\dot{m}_{mín} (h_1 - h_3)} \quad (3.6)$$

ε_t	é a eficiência total do ERV	[-]
h_1	é a entalpia do ar de alimentação que adentra o ERV	[kJ/kg]
h_2	é a entalpia do ar de alimentação que deixa o ERV	[kJ/kg]
h_3	é a entalpia do ar exaurido que adentra o ERV	[kJ/kg]
h_4	é a entalpia do ar exaurido que deixa o ERV	[kJ/kg]

4 QUALIDADE DO AR E VENTILAÇÃO

4.1 QUALIDADE DO AR INTERIOR

4.1.1 Visão geral

Como resultado das políticas de realocação populacional realizadas na Inglaterra no período da Revolução Industrial, as quais foram seguidas em diversos países do mundo, hoje é possível observar a grande densidade populacional nos grandes centros urbanos, que exigem cada vez mais edificações verticalizadas e espaços compartilhados para maximizar a eficiência espacial. Em razão desse fato e das rotinas de trabalho, os indivíduos passaram cada vez mais a conviver em espaços fechados. Prado e Carmo (1999) estimam que pessoas que moram em centro urbanos passam cerca de 80% a 90% de seus dias dentro de edifícios.

O crescimento acelerado dos centros urbanos e, conseqüentemente, do número de edificações promoveu uma elevada demanda energética para a criação de ambientes de clima artificial, no que diz respeito à iluminação e ventilação (Santos et al., 1992). Porém com a crise do petróleo, que surgiu na década de 70, os sistemas de ventilação sofreram uma redução considerável na vazão de ar recomendada por ocupante, reduzindo em cerca de um terço do que era utilizado por norma (Prado e Carmo, 1999). Somado a isso, medidas econômicas definidas nas edificações impactam diretamente na manutenção corretiva e preventiva dos equipamentos relacionados a AVAC, resultando no aumento elevado de problemas de saúde de trabalhadores, sobretudo. Tal elevação ficou conhecida como síndrome do edifício doente (SED), "*sick building syndrome*", que segundo Robertson (1995), considera-se doente, quando mais de 20% dos trabalhadores ou ocupantes apresentam sintomas.

Dentre os sintomas mais recorrentes causados por essa síndrome, a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA) lista irritação de olhos, garganta e nariz, dores de cabeça, cansaço, alergias respiratórias, tosses e espirros, congestão nasal, tontura e dificuldade de concentração (ABRAVA, 201-).

Nos últimos anos, a pandemia do COVID-19 levantou questões importantes acerca da qualidade do ar interior e da ventilação mecânica. Dados os mecanismos de transmissão do vírus, entidades do setor de ar-condicionado se mobilizaram para a elaboração de documentos com-

pilando recomendações para evitar o aumento do número de casos e, até mesmo, do número de óbitos decorrentes do vírus. Entre as importantes recomendações fornecidas pela ASHRAE (2021) podem ser citadas ventilação de ar exterior mínima de acordo com as normas vigentes, a utilização e/ou combinação de filtros de alta eficiência e limpadores de ar com eficácia comprovada. Além dessas citadas, para minimizar o contágio do ar de insuflamento em sistemas que utilizam recuperadores de energia ar-ar, a instituição recomenda a verificação de vazamentos e, se os equipamentos possibilitarem, que o ar de insuflamento seja composto exclusivamente de ar exterior (ASHRAE, 2020).

Percebe-se, pois, que qualidade do ar interior é imprescindível para garantir a longevidade e saúde dos ocupantes de uma edificação. Para tanto, é necessário que os projetos dessas instalações atendam, não só, às condições psicométricas de parâmetros recomendados para o conforto térmico, mas também aos limites aceitáveis de concentração de agentes químicos e biológicos, conforme constam as normas das instituições de referência.

Para promover saúde e higiene em ambientes de trabalho, a Associação Americana de Higiene Industrial (*American Industrial Hygiene Association - AIHA*) lista, dentre uma vasta gama de medidas, estratégias de controle de engenharia que envolvem ventilação, diluição de contaminantes, exaustão local e, na parte administrativa, a manutenção dos sistemas (ver Figura 4.1).

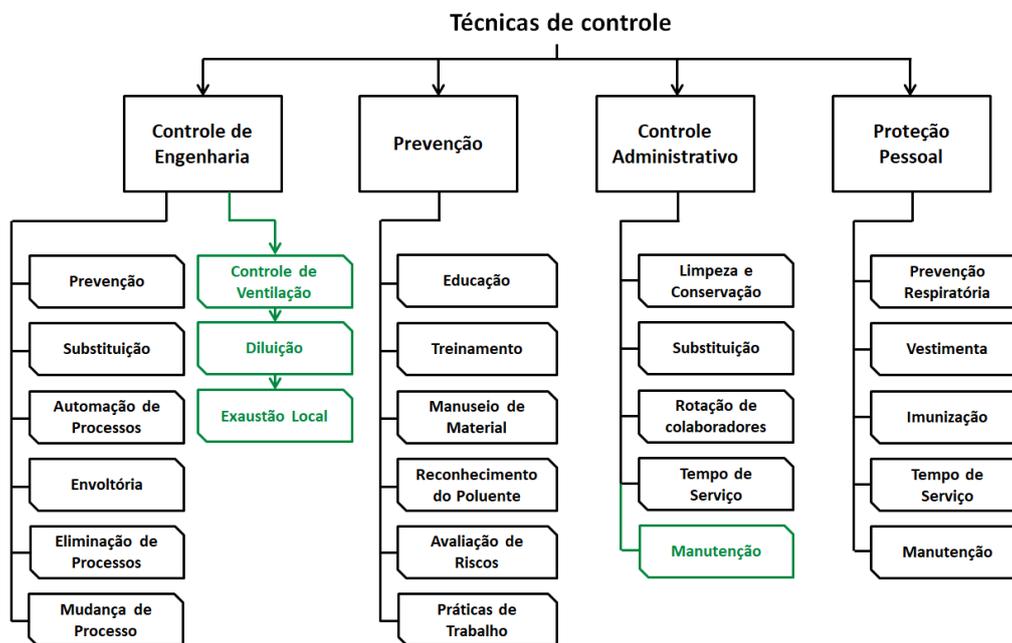


Figura 4.1: Técnicas de controle para promover a qualidade do ar interior em edificações (AIHA, 2009. Modificado)

4.1.2 Quais são os fatores que afetam a qualidade do ar interior

Dentre os principais fatores que afetam a qualidade do ar em ambientes internos citados por Prado e Carmo (1999): i) a ventilação dos ambientes, ii) contaminantes químicos (monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxido e dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, amônia, formaldeído e compostos orgânicos voláteis), iii) contaminantes biológicos (fungos, ácaros, bactérias e vírus), iv) materiais particulados (substâncias suspensas no ar na forma sólida ou líquida), v) ocupantes dos edifícios (tabaco, restos metabólicos, propagação de doenças, produtos utilizados na limpeza); vi) asbesto e vii) radônio.

Adicionalmente, Tham (2016) lista como fatores que influenciam a qualidade do ar: os materiais que compõem os objetos internos e a envoltória da edificação; a presença de equipamentos e os processos internos, que podem gerar contaminantes; os processos de condicionamento, condução e insuflamento de ar, haja vista que se promoverem escoamentos turbulentos, o fluxo carrega consigo contaminantes, principalmente particulados de baixa gramatura; a circulação de ocupantes, que pode promover a recirculação de particulados.

Vale ressaltar, também que a manutenção adequada dos sistemas de ar condicionado são cruciais para melhor filtragem, insuflamento, diluição e exaustão de ar e eliminação de contaminantes biológicos dos sistemas AVAC.

4.2 VENTILAÇÃO DE AR EXTERIOR

Para que ambientes internos possuam um ar de qualidade é necessário, sobretudo, o controle da concentração de contaminantes. A melhor forma de evitar o aumento da concentração de contaminantes é aderir medidas que impeçam o surgimento deles internamente, mas tais medidas muitas vezes são inviáveis, haja vista que o próprio processo metabólico dos ocupantes e as atividades internas realizadas resultam na geração de poluentes.

Dessa forma, uma excelente medida para diluir os contaminantes é utilizar a ventilação de ar exterior, que muitas vezes possui boa qualidade. Para que os projetos de ventilação atendam às necessidades dos ocupantes, a captação de ar exterior, na quantidade necessária insuflamento, na sua filtragem, condução até o ambiente interno, diluição nas zonas e sua exaustão devem ser realizado de acordo com as referências normativas. Nota-se, que todas essas etapas são cruciais para assegurar a saúde dos ocupantes.

4.2.1 Ventilação Natural

O primeiro mecanismo de ventilação utilizado em edificações é o da ventilação natural. Nesse tipo de ventilação, as forças motrizes para promover o fluxo de ar são a diferença de pressão entre os ambientes internos e externos e a diferença de densidade do ar entre ambas as regiões (Souza e Rodrigues, 2012).

Por possuir custo operacional nulo e custo de implementação baixo, a ventilação natural se mostra como a alternativa mais barata para promover a qualidade do ar interior. Apesar disso, percebe-se que se trata de uma solução como baixo nível de controle, uma vez que seu funcionamento está condicionado às condições climáticas da região de implementação. Dentre os outros fatores que afetam a eficácia e o funcionamento dessa solução, estão na quantidade, posição e geometria das aberturas e o posicionamento e a geometria da edificação (Frota, 2001; Allocca, Chen e Glicksman, 2003; Souza e Rodrigues, 2012). A depender do arranjo das aberturas e dos aspectos geométricos, a ventilação pode ocorrer de maneira cruzada, em que há aberturas em lados opostos, de maneira unilateral, em que as aberturas estão situadas em um mesmo lado e, pode ocorrer a diluição pelo efeito chaminé, causada pela diferença de densidade entre os fluidos, o que promove o fluxo de ar (Souza e Rodrigues, 2012). Os arranjos estão listados na Figura 4.2.

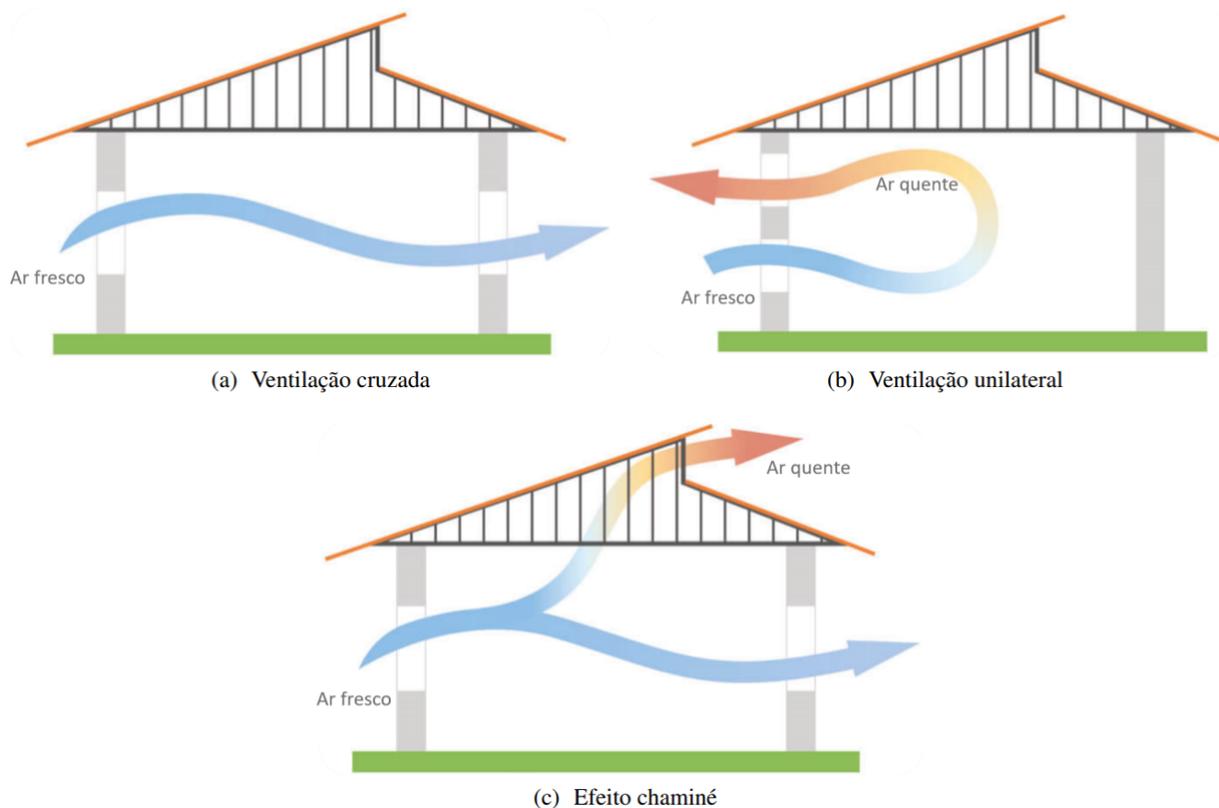


Figura 4.2: Mecanismos de ventilação natural (TECVENT, 2022. Modificado).

4.2.2 Ventilação Forçada

Outro mecanismo de ventilação utilizada em edifícios é o da ventilação forçada (ver Figura 4.3), em que são utilizados equipamentos com motores elétricos para o provimento de ar em zonas de difícil acesso para o ambiente externo ou ambientes que não são atendidos de maneira satisfatória pelo fluxo proveniente das aberturas.

A ventilação forçada, também chamada de ventilação mecânica, apresenta um conjunto de vantagens quando comparada à ventilação natural: ela independe das condições climáticas do local; é possível haver o controle do fluxo e velocidade de ar, de maneira a alterá-lo de acordo com a demanda do ambiente; é possível utilizar filtros para controlar a concentração de particulados e poluentes, se tornando crucial em processo fabris ou aplicações médicas que exigem ambientes controlados; em aplicações industriais que geram compostos tóxicos, há a possibilidade de exaustão localizada, de maneira a removê-los antes da inalação pelos funcionários e garantir a longevidade e saúde deles.

Embora a aplicação desse mecanismo seja mais eficiente e, muitas vezes, indispensável, ela também resulta em maiores custos no projeto da instalação, perda de área útil com casa de máquinas, custos de instalação e operacionais, haja vista que os ventiladores demandam energia elétrica e que o sistema de ventilação, desde a captação até o insuflamento, exige manutenções preventivas e corretivas.

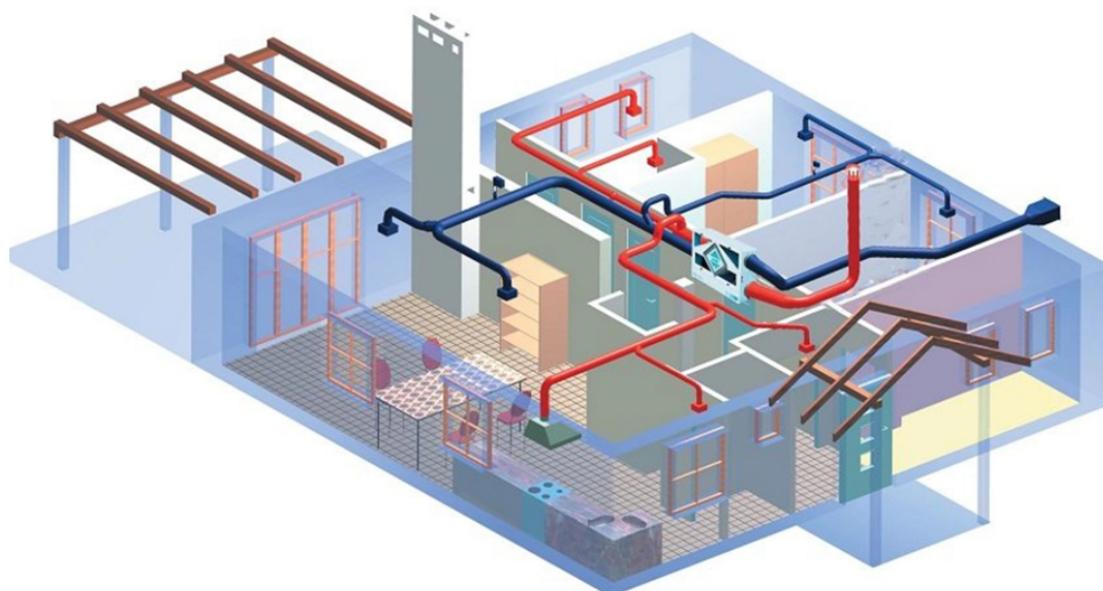


Figura 4.3: Representação figurativa de um sistema de ventilação forçada (Sicflux, 2020).

Há três configurações possíveis para os sistemas que utilizam o artifício da ventilação mecânica: a insuflação mecânica, em que ventiladores são utilizados para introduzir ar nos ambientes fechados, a extração mecânica, na qual o ar é admitido por meio da pressão manométrica negativa gerada por uma máquina de fluxo, que remove o ar viciado, por fim a ventilação por meio de sistemas balanceados, que fazem uso de equipamentos tanto para o insuflamento, quanto para a exaustão do ar, o que permite a utilização de recuperadores de calor (Ferreira, 2006).

4.2.3 Ventilação Híbrida

O terceiro e último mecanismo corresponde ao uso combinado da ventilação natural e da mecânica, também denominado de ventilação híbrida. A ventilação híbrida mostra-se uma alternativa interessante do ponto de vista da higiene e segurança do trabalho, uma vez que nem sempre a qualidade do ar interior é atendida pela ventilação natural, e também do ponto de vista econômico, pois a adoção da ventilação forçada durante longos períodos demandam níveis elevados de energia (Babota, 2014). Desse modo, a combinação dos dois mecanismos citados permite que sejam utilizadas rotinas de operação ou sistemas de automação e controle que reduzem o consumo de energia (Cho et al., 2021).

Heiselberg (2002) lista os três princípios da ventilação híbrida: A ventilação natural e ventilação mecânica, constituída por sistemas independentes, que entram em ação de acordo com a demanda; a ventilação natural assistida por ventilador, em que a máquina de fluxo viabiliza a passagem de ar no ambiente em cenários não favoráveis de gradientes de pressão e temperatura; e a ventilação mecânica assistida pelos gradientes de pressão e de temperatura, em que o interior é atendido por um ventilador, cujo funcionamento é otimizado pelas condições do ambiente externo (Heiselberg, 2002; Ferreira, 2006). Os três princípios estão representados na Figura 4.4.

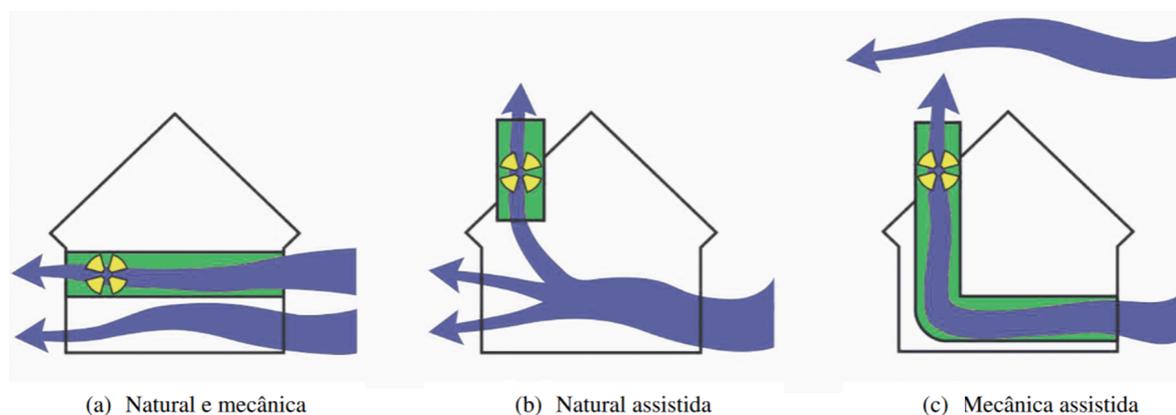


Figura 4.4: Princípios da ventilação híbrida (Heiselberg, 2002. Modificada).

4.2.4 Modelo de ventilação diluidora

Conforme foi observado anteriormente, o controle da concentração de contaminantes é essencial para assegurar a QAI. A partir da predição do aumento de cada poluente gerado no ambiente é possível definir valores de vazão para assegurar a saúde dos ocupantes de um recinto.

Um dos existentes modelos é o *Well Mixed Room Model*, no qual se considera que o ambiente interno possui uma excelente homogeneização do ar, de maneira que a concentração dos poluentes em qualquer ponto interno da sala é constante (shao et al., 2020). Portanto, é realizado um balanço de massa entre os poluentes contidos no ar insuflado no ambiente, os poluentes gerados internamente e os que são exauridos.

4.2.4.1 Ambiente com ventilação deficiente

O equacionamento do balanço de massa em ambientes com ventilação deficiente é dado por meio da carga de contaminantes admitido ou expulso de ambientes fechados por meio das aberturas e brechas na envoltórias deles (Equação 4.1).

$$V \frac{dC_i}{dt} = \dot{Q}_{inf} \cdot C_o - \dot{Q}_{ex} \cdot C_i + G \quad (4.1)$$

Em que,

V	é o volume do ambiente	$[m^3]$
C_i	é a concentração de um contaminante no ambiente	$[mg/m^3]$
C_o	é a concentração de um contaminante no ar exterior	$[mg/m^3]$
dC_i/dt	é a taxa de variação da concentração de um contaminante	$[mg/m^3 \cdot s]$
\dot{Q}_{inf}	é a vazão de ar infiltrado	$[m^3/s]$
\dot{Q}_{ex}	é o vazão de ar exaurido	$[m^3/s]$
G	é a taxa de geração do contaminante	$[mg/s]$

A concentração C_i , portanto é dado pela solução da equação diferencial ordinária de primeira ordem:

$$C_i(t) = \left(C_i^o \frac{\dot{Q}_{inf} C_o + G}{\dot{Q}_{ex}} \right) \cdot \exp\left(\frac{-\dot{Q}_{ex}}{V} t\right) + \frac{\dot{Q}_{inf} C_o + G}{\dot{Q}_{ex}} \quad (4.2)$$

Uma vez estabelecido o regime permanente (RP), isto é, $dC_i/dt = 0$, é possível manusear a Equação 4.1, de maneira que, se obtém Equação 4.3

$$C_{i,RP} = \frac{\dot{Q}_{inf} C_o + G}{\dot{Q}_{ex}} \quad (4.3)$$

Na qual,

$C_{i,RP}$ é a concentração de contaminante em regime permanente [mg/m^3]

Ademais, na situação em que $\dot{Q}_{ex} = \dot{Q}_{inf} = \dot{Q}$, obtém-se:

$$C_{i,RP} = C_o + \frac{G}{\dot{Q}_{ex}} \quad (4.4)$$

Na qual,

\dot{Q} é a vazão de ar [m^3/s]

A partir da Equação 4.4, portanto, é possível definir a vazão de ar adequada para que seja controlado a concentração máxima de um contaminante, em uma condição de regime permanente. Para isso, basta conhecer a concentração no ar externo da região de projeto, C_o , determinar, de acordo com as normas, o valor máximo de concentração, $C_{i,RP}$ e estimar uma taxa de geração máxima.

4.2.4.2 Ambiente com renovação de ar

O equacionamento do balanço de massa em ambientes com sistemas de renovação de ar por meio de ventilação forçada, além de considerar as vazões de ar pelas envoltórias, conforme foi feito para os ambientes não ventilados, ele também avalia a proporção dos contaminantes do ar de suprimento, uma vez que sua composição é ponderada pela vazão de ar exterior, pela recirculação de ar do interior e suas respectivas concentrações de poluentes (ver Equação 4.5). Vale ressaltar, porém, que os poluentes no ar exterior podem ser separados do ar de insuflamento, caso o sistema de ventilação permita a instalação de filtros.

$$V \frac{dC_i}{dt} = \dot{Q}_{inf} \cdot C_o - \dot{Q}_{ex} \cdot C_i + [\dot{Q}_s (1 - \varepsilon_f) (\alpha_o C_o + \alpha_i C_i)] - (\dot{Q}_s - \delta \dot{Q}_m) C_i + G \quad (4.5)$$

De forma que,

\dot{Q}_s	é a vazão de ar de suprimento	$[m^3/s]$
$\delta \dot{Q}_m$	é a vazão de pressurização	$[m^3/s]$
ε_f	é a eficiência do elemento filtrante	$[-]$
α_o	é a razão entre a vazão de ar exterior e \dot{Q}_s	$[-]$
α_i	é a razão entre a vazão de ar recirculado e \dot{Q}_s	$[-]$

A solução da equação diferencial ordinária é:

$$C_i(t) = \left(C_i^o - \frac{\beta}{\alpha} \right) \cdot \exp(-\alpha t) + \frac{\beta}{\alpha} \quad (4.6)$$

Em que,

$$\beta = \frac{[\dot{Q}_{inf} C_o + \dot{Q}_s (1 - \varepsilon_f) \alpha_o C_o + G]}{V} \quad (4.7)$$

e

$$\alpha = \frac{[\dot{Q}_{ex} - (1 - \varepsilon_f) \alpha_i \dot{Q}_s + \dot{Q}_s - \delta \dot{Q}_m G]}{V} \quad (4.8)$$

Quando o regime de ventilação atinge a condição de permanente, tem-se:

$$C_{i,RP} = \frac{[\dot{Q}_{inf} + \dot{Q}_s (1 - \varepsilon_f) \alpha_o] C_o + G}{\dot{Q}_{ex} - (1 - \varepsilon_f) \alpha_i \dot{Q}_s + (\dot{Q}_s - \delta \dot{Q}_m)} \quad (4.9)$$

A partir da Equação 4.9, portanto, é possível definir a vazão de ar adequada para que seja controlado a concentração máxima de um contaminante, em uma condição de regime permanente. Para isso, deve-se conhecer a concentração no ar externo da região de projeto, C_o ; determinar, de acordo com as normas, o valor máximo de concentração, $C_{i,RP}$; determinar o valor máximo da geração de contaminantes; conhecer a eficiência dos filtros, ε_f , e manteni-los; e, por fim fazer o balanço entre a composição do ar de insuflamento.

4.2.5 Ventilação controlada por demanda

A ventilação controlada por demanda (VCD) é uma solução de engenharia com a capacidade de modular a vazão de ar exterior em sistemas que utilizam ventilação forçada ou híbrida de acordo com a necessidade dos ambientes internos (ver Figura 4.5). A implementação dessa solução pode contribuir de maneira significativa para a redução no consumo de energia elétrica, uma vez que as edificações podem possuir um perfil médio de ocupação inferior à de projeto (Mysen et al., 2005), os quais superestimam a ocupação máxima (Roth, Dieckmann e Brodrick, 2003).

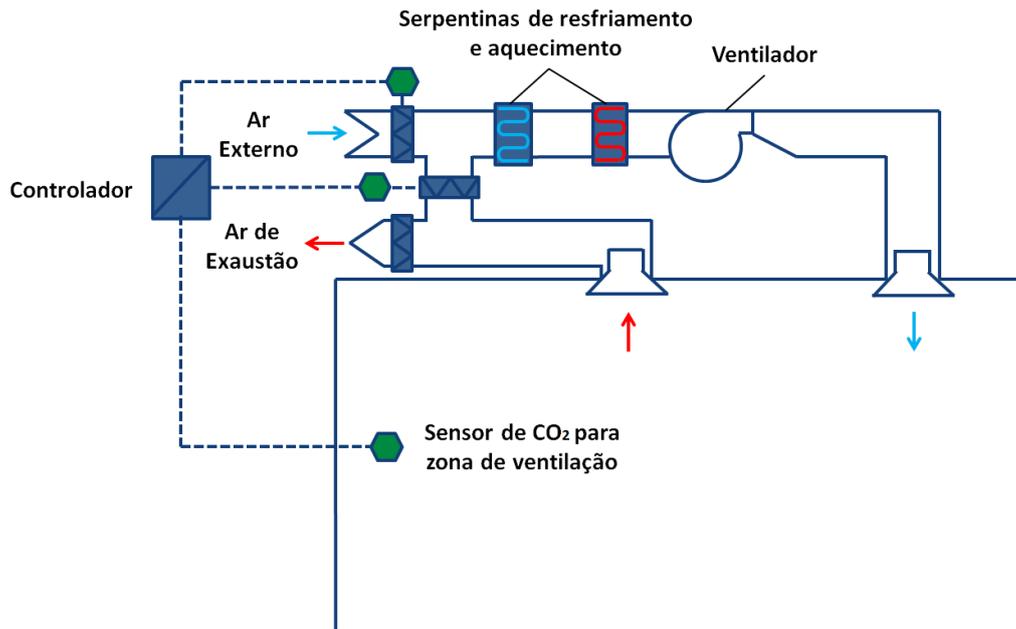


Figura 4.5: Princípios da ventilação híbrida (ZHANG, LIU e DASU, 2012. Modificada).

Os principais sensores utilizados para o controle do fluxo são os de monitoramento de CO₂ e os de ocupação de um ambiente. O primeiro baseia-se em medir a concentração do dióxido de carbono em um ambiente interno e comparar o resultado medido com a concentração presente no ar atmosférico (Valverde, 2016). Há algumas ressalvas, porém, quanto ao uso desses sensores, pois a medição deve ser realizada em um local que realmente expresse a concentração do gás no ar inalado pelos ocupantes e é necessária uma calibração constante para evitar medições errôneas.

O segundo sensor pode realizar medições de infra-vermelho para estimar a ocupação em ambientes ventilados, deve-se evitar, porém, que o sensor avalie outras fontes de calor internas, afetando as medições. Um outro tipo de método que vem sendo estudado para a detecção de pessoas e suas respectivas atividades utilizando inteligência artificial.

Um estudo conduzido por Wei et al. (2022) mostrou que o treinamento de modelos de rede

neural convolucional para regiões implementados em câmeras com inteligência artificial, conseguiram, com uma precisão de 98,9%, determinar a ocupação de ambientes ventilados. Os resultados apontam que a aplicação desse tipo de sensor permite que os sistemas de ventilação promovam a QAI e identifiquem os problemas de ventilação deficiente ou excessiva.

4.2.6 Normatização

4.2.6.1 Portaria Nº 3.523/1998, Ministério da Saúde

Em razão dos crescentes casos de SED, aumento da utilização de sistemas de ar condicionado e preocupação com a saúde dos trabalhadores, o Ministério da Saúde criou a portaria 3.523, publicada em 28 de Agosto de 1998.

O Artigo 5º dessa portaria exige que os sistemas AVAC de todos os tipos de instalações apresentem condições padrão de limpeza, manutenção, operação e controle, por meio de procedimentos como a limpeza de componentes propícios à proliferação de micróbios, verificação e rotina de troca adequada para elementos filtrantes, captação de ar externo longe de fontes poluentes, entre outros. Todos esses procedimentos, somados à vazão mínima estabelecida de $27 \text{ m}^3/\text{h}/\text{pessoa}$, contribuem significativamente para a QAI.

O Artigo 6º, por sua vez, exige que as instalações com, capacidade superior a 5 TR possuam um responsável técnico habilitado para implementar, manter, garantir a aplicação e registrar a execução de procedimentos estabelecidos do Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) dos sistemas de climatização. O PMOC é um documento que compila informações de identificação do instalação termomecânica, descrição das atividades a serem desenvolvidas e suas periodicidades e recomendações em casos de falha de equipamentos e de emergências.

4.2.6.2 Norma ABNT NBR 16401-3/2008

No Brasil, as instalações de ar-condicionado central e sistemas unitários com capacidade de 10 kW ou mais são regulamentadas pela norma ABNT NBR 16401, que é dividida em três partes: i) a parte 1, que enlaça um conjunto de especificações que devem ser seguidas no projeto dessas instalações; ii) a parte 2, que elucida os parâmetros necessário para o conforto térmico dos ocupantes ; e iii) a parte 3, que aborda as questões específicas de qualidade do ar interior.

De acordo com a parte 3 da norma, a QAI é controlada por meio da utilização de sistemas

de filtragem e pela vazão do ar exterior, a qual tem o seu valor estabelecido de acordo com a norma ANSI/ASHARE 62.1. Essa norma internacional define o valor de vazão eficaz baseado na soma de duas parcelas independentes: uma de acordo com a área ocupada do ambiente e a outra atribuída às pessoas que o ocupam (ver Equação 4.10).

$$V_{ef} = P_z F_p + A_z F_a \quad (4.10)$$

Em que,

V_{ef}	é a vazão de ar exterior eficaz	$[L/s]$
F_p	é a vazão de ar por pessoa	$[L/s]$
F_a	é a vazão de ar por área ocupada	$[L/s \cdot m^2]$
P_z	é o número máximo de ocupantes	$[-]$
A_z	é a área útil ocupada	$[m^2]$

Os valores das vazões de ar por pessoa e por área ocupada são fornecidos por meio de uma tabela, que relaciona o tipo de edificação, com níveis crescentes de ventilação. O primeiro nível define o mínimo valor de vazão de ar exterior. O segundo nível é o valor intermediário de vazão. Por fim, o terceiro nível se trata do valor ideal para que, segundo evidências científicas, sejam reduzidas as reclamações e manifestações alérgicas dos ocupantes.

É necessário, porém, que a a vazão eficaz seja corrigida de acordo com a configuração da distribuição de ar nas zonas de ventilação, uma vez que as configurações apresentam diferentes valores de eficiência. O valor de vazão eficaz corrigida é dada pela Equação 4.11.

$$V_z = \frac{V_{ef}}{E_z} \quad (4.11)$$

Em que,

V_z	é a vazão de ar exterior a ser suprida na zona de ventilação	$[L/s]$
E_z	é a eficiência da distribuição de ar na zona	$[-]$

Já em sistemas dotados de uma zona com ventilação única, considera-se:

$$V_S = V_Z \quad (4.12)$$

Em que:

V_S é a vazão de ar exterior na tomada de ar [L/s]

Há ainda o anexo C da norma, que aborda a relação da qualidade do ar interior e a taxa de vazão de ar exterior com o nível de CO₂. Apesar de ser um bom indicador de poluição de um recinto, haja visto que ele é emitido naturalmente durante a respiração e seu alto nível de concentração indicar a necessidade de maior renovação, esse gás não pode ser atribuído como um indicador de QAI, haja vista que ele é apenas um dos diversos poluentes que fazem mal à saúde humana.

Dito isso, para determinar a vazão de ar exterior necessária para que a concentração volumétrica de CO₂ seja mantida estável:

$$V_0 = \frac{N}{C_S - C_0} \quad (4.13)$$

Em que,

V_0 é a vazão de ar exterior por pessoa [m³/h/pessoa]

N é a taxa de geração CO₂ por pessoa [ppm/h/pessoa]

C_S é a concentração de CO₂ no ambiente [ppm]

C_0 é a concentração de CO₂ no ar exterior [ppm]

O valor normalmente aceito de concentração máxima de CO₂ em um ambiente é de 1000 ppm, para que o ar interior seja de qualidade. Porém, esse valor apenas é adequado quando a concentração no ar exterior assumida arbitrariamente em 300 ppm. Em situações em que o ar exterior apresenta uma concentração mais alta de CO₂, a medição no ambiente interior não pode ultrapassar a exterior em mais de 700 ppm.

5 DEFINIÇÕES DO MODELO COMPUTACIONAL

Neste capítulo é descrita como foi realizada a construção e modelagem do ambiente legislativo num arquivo que carrega informações de envoltória, incidência solar, localização geográfica, ocupação de pessoas, parâmetros relacionados ao sistema de climatização e ventilação.

5.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA ELEITO

De acordo com a metodologia proposta, as simulações computacionais dos diferentes cenários no *software* DesignBuilder exigem a criação de um ambiente tridimensional, que foi realizado no programa SketchUp, para o qual foi importada a planta do ambiente estudado em CAD, para a delimitação da zona térmica de interesse. Após a criação da zona térmica, é preciso fornecer ao OpenStudio diversos parâmetros que caracterizam o ambiente, como os materiais que constituem a sua envoltória, ângulo de azimute, definição de superfícies, os arquivos climáticos da região, dentre outros. Em sequência, importa-se o arquivo IDF para o DesignBuilder e define-se o perfil de ocupação e atividade, a dissipação de calor pelos equipamentos, perfil de iluminação, dentre outros. Por fim, foi incorporado ao modelo, um sistema HVAC condizente com o existente na Câmara dos Deputados.

Com o intuito de avaliar o impacto da vazão de ar exterior variável, do recuperador de energia e de ambos simultaneamente, o modelo elaborado é dividido em quatro diferentes subsistemas: i) a zona térmica; ii) o de climatização; iii) de controle da vazão de ar exterior; e iv) recuperador de energia (ERV). A combinação desses subsistemas está representada na Figura 5.1.

De forma simplificada, o funcionamento dos subsistemas é descrito da seguinte maneira:

1. A zona térmica é caracterizada pelo ambiente atendido pelos sistemas AVAC. A modelagem desse ambiente foi feita a partir das plantas apresentadas em desenhos técnicos e foram utilizados os materiais padrões previstos pela ASHRAE na envoltória do ambiente. Por fim, foram adicionados os perfis de ocupação, iluminação, utilização de equipamentos elétricos e suas respectivas cargas térmicas foram calculadas.
2. O subsistema de climatização é controlado de acordo com a demanda do ambiente. Para

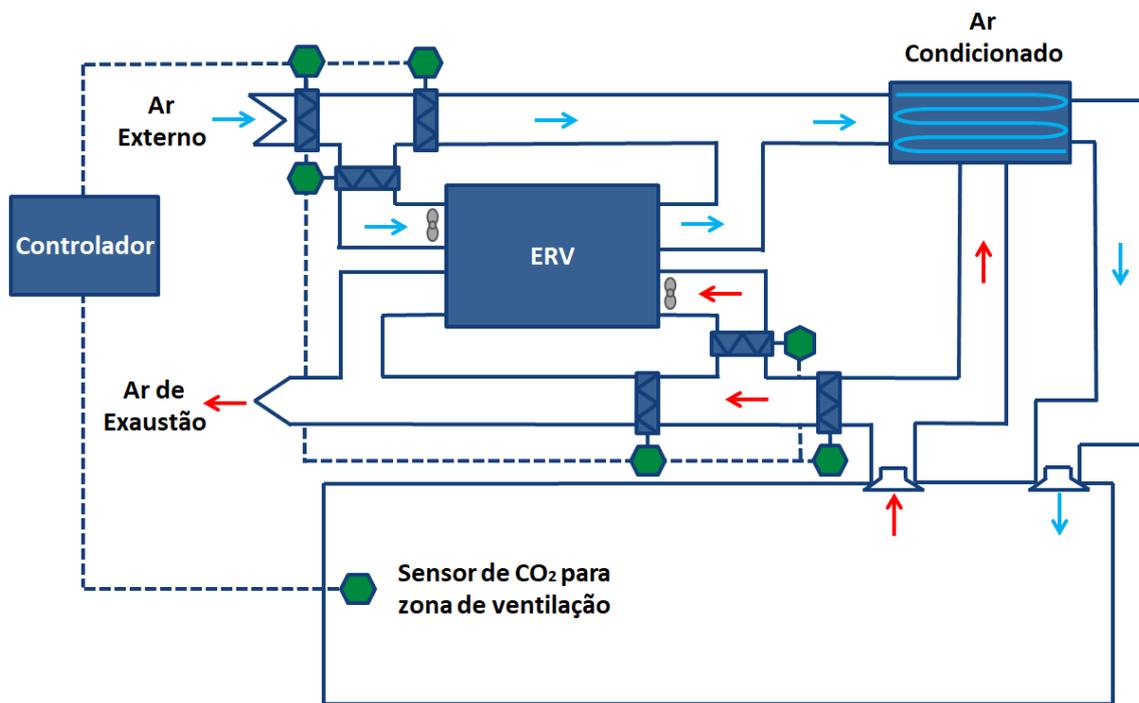


Figura 5.1: Representação esquemática do modelo de climatização combinado com ventilação controlada por demanda e recuperador de energia. (Valverde, 2016. Modificado)

tanto foi calculada a carga térmica, com o objetivo de dimensionar o sistema AVAC para a solução convencional.

3. O subsistema de controle de vazão de ar exterior é responsável por manter a qualidade do ar em níveis aceitáveis. A ventilação de ar exterior é controlada por meio das medições de CO₂ por meio de sensores. Conforme as normas de ventilação, a medição de concentração interna do dióxido de carbono não deve superar em 700 ppm a concentração do ar externo.
4. Já o ERV consiste na adoção de um trocador entálpico entre os fluxos de ar de exaustão e de ar exterior. Dessa maneira, ocorre o pré-condicionamento do ar de insuflamento, acarretando na diminuição da carga térmica e, por consequência, no consumo de energia elétrica.

5.2 ESTRATÉGIAS DE CÁLCULO E CONTROLE DOS SUBSISTEMAS

Anteriormente às simulações dos modelos computacionais em diferentes cenários, é necessário dividi-los em diversos subsistemas, com o intuito de melhor descrevê-los.

5.2.1 Ambiente condicionado

O plenário em estudo se trata de um ambiente composto por apenas uma única zona térmica, atendida por um equipamento de ar do tipo *fan coil*, com controle central. Para que seja calculada a vazão de ar exterior, foi considerado que a zona térmica e zona de ventilação fossem equivalentes. Em razão da capacidade do sistema central de água gelada possui uma capacidade diversas vezes superior a 10 kW, as questões de ventilação de ar exterior e qualidade do ar devem ser regulamentadas pela norma ABNT NBR 16401-3.

Os materiais que compõem a envoltória do ambiente foram selecionados de acordo com a definição padrão para edificações do tipo "salas de conferências", pela semelhança com o ambiente legislativo. Como se trata de um ambiente interno à edificação, foi considerado que as superfícies externas não eram expostas à ação dos ventos e insolação. De acordo com as características reais da sala deliberativa, foram levantados perfis de ocupação, atividade, iluminação e funcionamento dos equipamentos. Todas as possíveis fontes internas de calor foram levantadas de acordo com o ambiente já existente e suas rotinas se basearam na Agenda da Câmara dos Deputados.

Desse modo, todos os parâmetros necessários para o levantamento de carga térmica foram adicionados ao modelo importado para o *software* DesignBuilder, que atendem às metodologias de cálculo da ASHRAE. Com isso, foi levantado o perfil de carga térmica, bem como os picos mensais. Os resultados da simulação e parâmetros estão pontuados na Secção 6.2.

5.2.2 Sistema de climatização

O sistema de climatização do plenário é do tipo central, com expansão indireta (ver Figura 5.2). A zona térmica é atendida por um equipamento do tipo *fan coil*, no qual circula água gelada proveniente do resfriador de líquido, também conhecido como *chiller*. A circulação de água a baixa temperatura por meio de tubulações é possibilitada pelas bombas de água gelada primárias e secundárias, alimentadas pelo circuito de evaporação do resfriador. O circuito de condensação, por sua vez, é conectado às torres de resfriamento, que são responsáveis por remover calor da água condensada. Essa conexão é feita por meio de bombas de água condensada.

O ar de insuflamento é uma mistura dos fluxos de ar exterior e do ar exaurido. Posteriormente, ocorre a troca calor nas serpentinas do *fan coil*, então o ar percorre os dutos e é admitido na zona térmica. O modelo é composto de uma serpentina de resfriamento com alimentação em água gelada e o ventilador, abordando, pois, apenas a unidade evaporadora do sistema central.

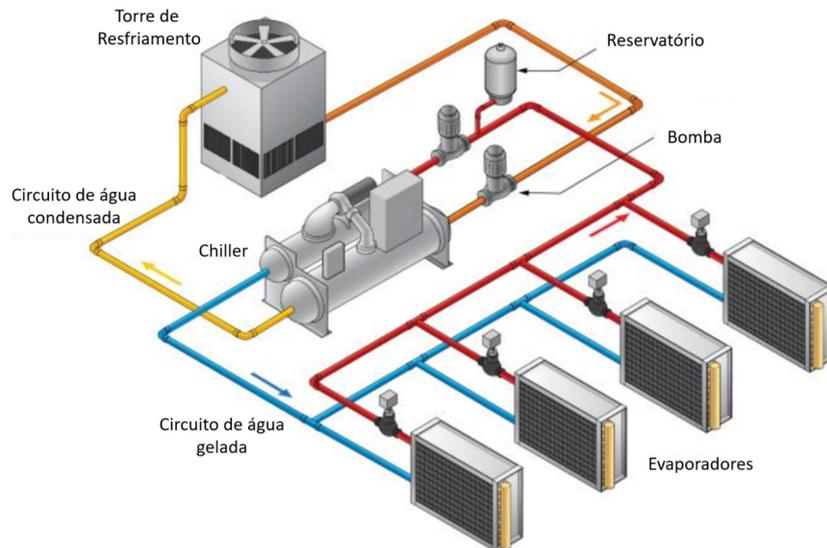


Figura 5.2: Representação esquemática de um ciclo de expansão indireta. (DAIKIN, 2016. Modificado)

5.2.3 Sistema de ventilação controlada por demanda

Por se tratar de um ambiente legislativo, a principal fonte de poluentes para o ambiente são as pessoas, as quais emitem constantemente CO_2 por meio da respiração. Portanto, para essa aplicação, a ventilação de ar exterior será modulada de acordo com a concentração do dióxido de carbono. Para tanto, é necessário um sistema de controle dotado de sensores de concentração de CO_2 , controladores, inversores de frequência para os ventiladores e *dampers*.

Conforme consta a norma ABNT NBR 16401-3, a abordagem de controle da concentração de CO_2 no ambiente climatizado pode ser realizada por meio de três formas: i) da definição de um valor conservador de concentração do poluente na cidade de projeto, de maneira que a concentração interna não supere em 700 ppm esse valor; ii) da medição constante de concentração interna e externa, comparando-as para modular a ação dos ventiladores; ou iii) definindo um *setpoint* para a concentração máxima de 1100 ppm. A estratégia escolhida consiste em: aumentar a vazão de ar exterior, quando a concentração interna de CO_2 atinge ou ultrapassa o valor máximo determinado de 1100 ppm.

5.2.4 Dispositivo recuperador de energia

A recuperação de energia ocorre entre as vazões de ar exterior e o exaurido do ambiente climatizado. Dessa forma, deve ser combinado o uso do ERV a dispositivos de automação e controle, de maneira que a operação dos ventiladores ocorra de maneira adaptativa, sobretudo

quando a ventilação é controlada por demanda.

Os principais parâmetros a serem fornecidos para modelos computacionais de ERVs são as eficiências sensíveis e latentes, as quais variam de acordo com a porcentagem de vazão e se a aplicação é de aquecimento ou resfriamento de ar. Posteriormente devem ser fornecidos parâmetros estimados de potência elétrica, tipo de recuperador, adoção ou não de sistemas de degelo e eficiência na recuperação de energia e sensível para 100 e 75% da vazão máxima.

5.2.5 Modelo completo

As simulações computacionais serão realizadas em quatro diferentes modelos: i) solução convencional AVAC; ii) sistema com ERV entre os fluxos de ar; iii) solução convencional somada a ventilação controlada por demanda; e iv) combinação do ERV com VCD. Dessa maneira será possível avaliar o impacto no consumo energético e na carga térmica atendida pela unidade de tratamento de ar de cada uma das tecnologias, bem como avaliar o desempenho combinado delas.

O modelo elaborado no DesignBuilder conta com 4 *loops*: o de água gelada, água condensada, o de suprimento e o de demanda de ar (ver Figura 5.3).

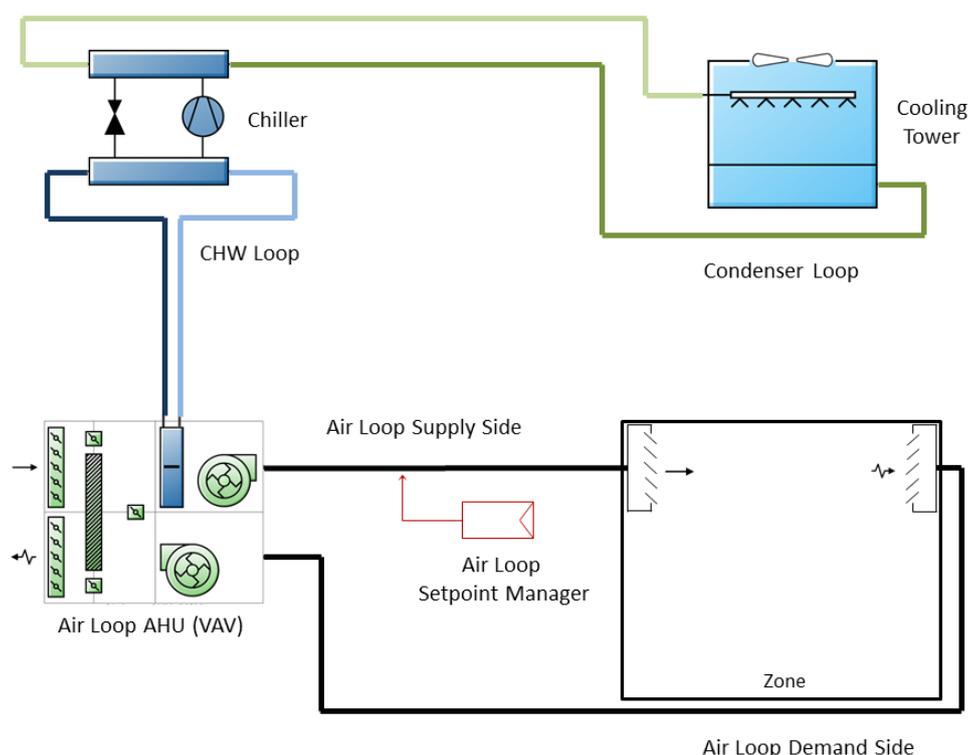


Figura 5.3: Diagrama representativo do *loop* de ar da simulação computacional realizada no DesignBuilder.

6 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo é apresentado o estudo de caso de um plenário da Câmara dos Deputados, cujas informações servirão de parâmetros para os modelos computacionais apresentados no capítulo anterior.

6.1 CÂMARA DOS DEPUTADOS

Brasília se trata do grande centro político brasileiro, constituída de um projeto arquitetônico ímpar que representa seu nível de importância. Situado na Praça dos Três Poderes está o palácio do Congresso Nacional (Figura 6.1), símbolo do poder Legislativo, constituído pela Câmara dos Deputados e o Senado Federal.



Figura 6.1: Congresso Nacional (GDF, 2018. Modificado).

O Complexo Principal da Câmara dos Deputados além de ser constituído pelo Edifício Principal, que abriga o Plenário Ulysses Guimarães, e o Anexo I, a torre direita do palácio, é também pelos anexos II, III e IV.

6.1.1 Anexo II

No anexo II são desempenhadas atividades imprescindíveis para a democracia, haja vista que nele estão localizados os plenários das comissões, nos quais ocorrem reuniões, debates e audiên-

cias públicas relacionadas a temas de relevância social. Além disso, nele estão situadas lideranças partidárias, a Diretoria Geral, o Departamento de Taquigrafia e o Centro de Documentação e Informação (Câmara dos Deputados, 201-).

6.1.2 Plenário 02

O plenário a ser abordado nesse estudo é o Plenário 02, com aproximadamente 300 m², possui um total de 154 assentos, distribuídos entre os parlamentares, a presidência das sessões e equipe técnica (ver Figura 6.2).



Figura 6.2: Fotografia do Plenário 2 das comissões em um dia comum de sessão (Poder360, 2019).

Apesar de possuir uma grande quantidade de divisórias, vale ressaltar que somente a região em que ocorrem os debates será considerada para esse estudo, em razão de que as zonas térmicas adjacentes não são ocupadas ou possuem um perfil de ocupação variável.

Tal ambiente mostra-se um excelente estudo de caso para a aplicação de recuperadores de energia e ventilação de ar exterior por demanda, haja vista que sua ocupação é bastante variável, tendo em vista tanto a agenda das sessões, o que interfere diretamente na ocupação tanto por dia da semana quanto pelos horários, quanto a pauta abordada.

Dessa forma, corrobora-se a necessidade de operação do sistema em cargas parciais, implementação de sistemas de automação para controle da ventilação e arrefecimento de acordo com a demanda e, por fim, a otimização do sistema de ar condicionado a fim de evitar superdimensionamento e custos operacionais dos equipamentos.

6.2 CARGA TÉRMICA

O cálculo de carga térmica é uma etapa imprescindível para o projeto de climatização de zonas, uma vez que essa grandeza representa a taxa de remoção de calor necessária para adequar as condições do ar dentro de intervalo estipulado para o conforto térmico dos ocupantes, assim como o caso da aplicação em estudo, ou para processos. Será desempenhado, pois, o cálculo da carga térmica do plenário em estudo, cujas características estão compiladas na Tabela 6.1, haja vista que o estudo objetiva reduzir a demanda de resfriamento e, conseqüentemente, o custo operacional associado ao processo de tratamento do ar.

Tabela 6.1: Características do Plenário 02 cruciais para o cálculo de carga térmica.

Parâmetro	Valor
Área	$\approx 300 m^2$
Pé direito	$2,58 m^1$
Ocupação máxima	154 pessoas
Cidade do Projeto	Brasília/DF
Temperatura interna de conforto	$23^\circ C$
Umidade relativa interna de conforto	50%
Carga de iluminação	$12,50 W/m^2$
Carga de equipamentos elétricos fixos	9083 W
Carga de equipamentos elétricos flutuantes	$10,38 W/pessoa$
Taxa de Infiltração	$22,8 L/s^2$
Carga de atividade	$130 W/m^2$
Carga de ventilação do ar externo	Variável ³

Fonte: Elaboração do autor.

¹Nota: - O plenário possui altura variável, logo calculou-se uma altura média de pé direito.

²Nota: - Calculado com base no valor fornecido pelo *OpenStudio*.

³Nota: - A ventilação de ar exterior varia de acordo com o perfil de ocupação e solução escolhida.

6.2.1 Cidade do projeto

Para que a simulação da carga térmica seja a mais fidedigna é indispensável saber as condições psicométricas do ar para essa região, haja vista que parâmetros como temperatura de bulbo seco e

umidade relativa são alterados durante o processo de tratamento, para se adequarem às condições de insuflamento. Ademais, as propriedades citadas são cruciais para a caracterização das entalpias e umidades absolutas, as quais interferem diretamente no desempenho dos recuperadores de energia.

Conforme mencionado na subseção 6.1, a Câmara dos Deputados está situada na cidade de Brasília, no Distrito Federal. As Figuras 6.3 e 6.4 apresentam, respectivamente, os perfis médios para Brasília de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar no horário de funcionamento da Câmara dos Deputados, no ano de 2022, de acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia, (INMET, 2022).

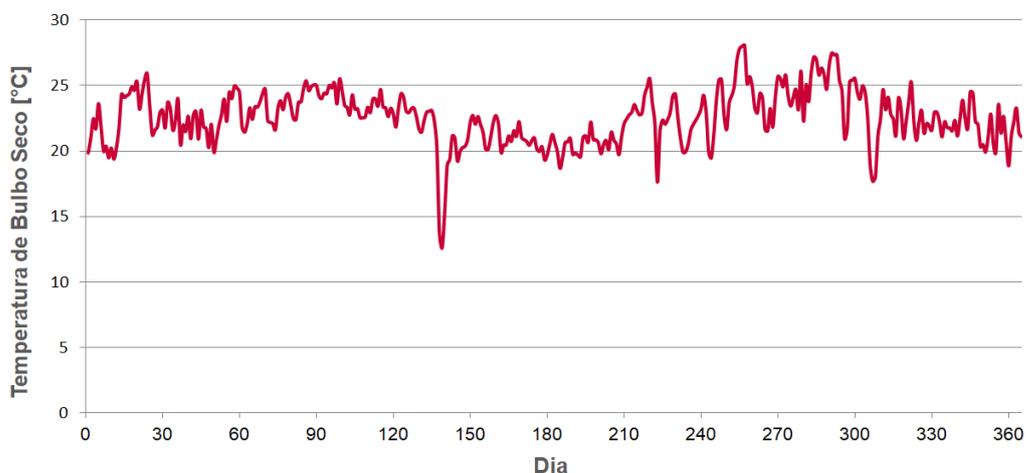


Figura 6.3: Média da temperatura de bulbo seco do ar em Brasília para o horário comercial no ano de 2021.

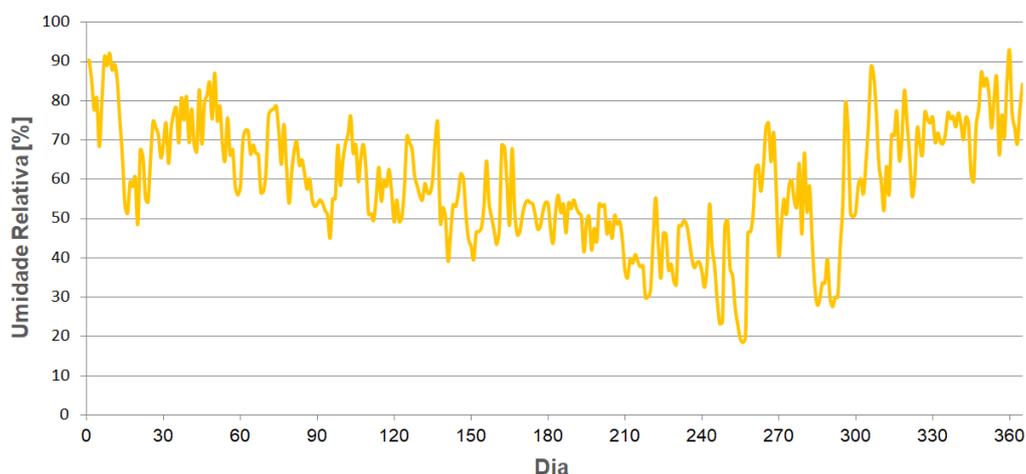


Figura 6.4: Média da umidade relativa do ar em Brasília para o horário comercial no ano de 2021.

6.2.2 Estrutura física

A simulação realizada para o cálculo de carga térmica exige que sejam definidos os tipos de materiais utilizados na construção da zona de estudo. Isso se deve aos mecanismos de condução de calor, uma vez que a região interna ao volume de controle estabelecido e a região externa possuem um diferencial de temperatura, força motriz para a transferência de calor, que é mediada pela resistência térmica das camadas de material. Além disso, os diferentes tipos de materiais permitem diferentes níveis de admissão de radiação no ambiente interno. Para o cálculo do plenário foi utilizada a definição *189.1-2009 - CZ2 - Office* do programa, uma vez que Brasília está situada na Zona Climática 2A, de acordo com a ASHRAE.

6.2.3 Fontes internas de calor

6.2.3.1 Equipamentos

Os equipamentos presentes no plenário atendem tanto à equipe técnica do local, quanto aos próprios participantes e à presidência da sessão. Os equipamentos e suas potências dissipadas estão descritos na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Equipamentos fixos presentes no Plenário 02 e suas potências dissipadas.

Equipamento	Potência Unitária	Quantidade	Potência Dissipada [W]
Relógio digital	1,5	2	3
Telão LED	1750	1	1750
Câmeras de segurança	6	5	30
Computadores de mesa	35	102	3750
Monitores	35	102	3750
Impressora	160	1	160
Total:			9443

Fonte: Elaboração do autor.

Além dos equipamentos fixos listados, observa-se que uma boa quantidade de ocupantes levam seus computadores pessoais para a área deliberativa, sendo necessário adicionar essa parcela ao cálculo de carga térmica. Vale notar, porém, que esse valor é flutuante, sendo necessário atri-

buir um valor médio para cada ocupante. O cálculo foi feito considerando que em um dia lotado, cerca de 40 pessoas levam seus equipamentos, os quais consomem aproximadamente 40 W, sendo uma média de 9,20 W/pessoa.

6.2.3.2 Perfil de ocupação

O nível de ocupação de um ambiente pode acarretar em altos impactos na carga térmica de ambientes de ocupação elevada, como teatros, plenários e salas de aula, haja vista que as pessoas, por meio de seu metabolismo e trocas gasosas, adicionam carga sensível e latente ao meio. Além disso, a taxa de ventilação de ar exterior é função da quantidade de ocupantes de um recinto, o que demanda que as unidades de tratamento de ar removam uma maior quantidade de calor para acondicionar o ar externo.

Por se tratar de um ambiente de debate legislativo, o Plenário 02 possui um perfil de ocupação bastante variável, pois as pautas que lá são debatidas podem promover maiores ou menores níveis de ocupação. Além disso, deve ser levado em consideração que a ocupação semanal pode variar de acordo com a agenda da Câmara dos Deputados. Os perfis de ocupação semanais estão representados nas Tabelas 6.3 e 6.4, elas consideram um perfil máximo de ocupação de 154 pessoas.

Tabela 6.3: Perfil de ocupação do Plenário 02, em porcentagem, no primeiro turno de sessões.

Horário	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
08:30	0	0	0	0	0
09:00	0	20	20	20	0
09:30	0	50	50	50	0
10:00	0	75	75	75	0
10:30	0	75	75	75	0
11:00	0	75	75	75	0
11:30	0	50	50	50	0
12:00	0	15	15	15	0
12:30	0	0	0	0	0

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 6.4: Perfil de ocupação do Plenário 02, em porcentagem, no segundo turno de sessões.

Horário	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
14:00	0	0	0	0	0
14:30	0	20	20	20	0
15:00	0	75	75	75	0
15:30	0	100	100	100	0
16:00	0	90	90	90	0
16:30	0	85	85	85	0
17:00	0	75	75	75	0
17:30	0	25	25	25	0
18:00	0	0	0	0	0

Fonte: Elaboração do autor.

6.2.4 Sistema de climatização e ventilação

O sistema de ar condicionado que atende à edificação do Anexo II, da Câmara dos Deputados, é do tipo central, com expansão indireta. Dentre a composição da central de água gelada, no que diz respeito aos equipamentos mecânicos desse sistema, estão listados:

- Três resfriadores de líquido, com compressores centrífugos, os quais atendem a carga térmica da edificação durante o dia (ver Tabela 6.5);
- Três torres de resfriamento;
- Oito bombas de água condensada;
- Cinco bombas de água gelada;

A Figura 6.5 ilustra a disposição do sistema de climatização, com a localização e escala de seus dutos e difusores. Já no plenário estão dispostos os seguintes equipamentos de climatização:

1. Um condicionador de ar, do tipo *fan coil*, com capacidade de 8 TR;
2. 30 difusores de ar para luminárias, isto é, do tipo *troffer*;

Tabela 6.5: Informações dos *chillers* de funcionamento diurno.

Parâmetro	Informações
Fabricante	Carrier
Modelo	19XRV
Capacidade máxima	665 <i>TR</i>
Tipo de compressor	Centrífugo
Consumo máximo	354 <i>kW</i>
Temperatura de saída da água gelada	6,5°C

Fonte: Elaboração do autor.

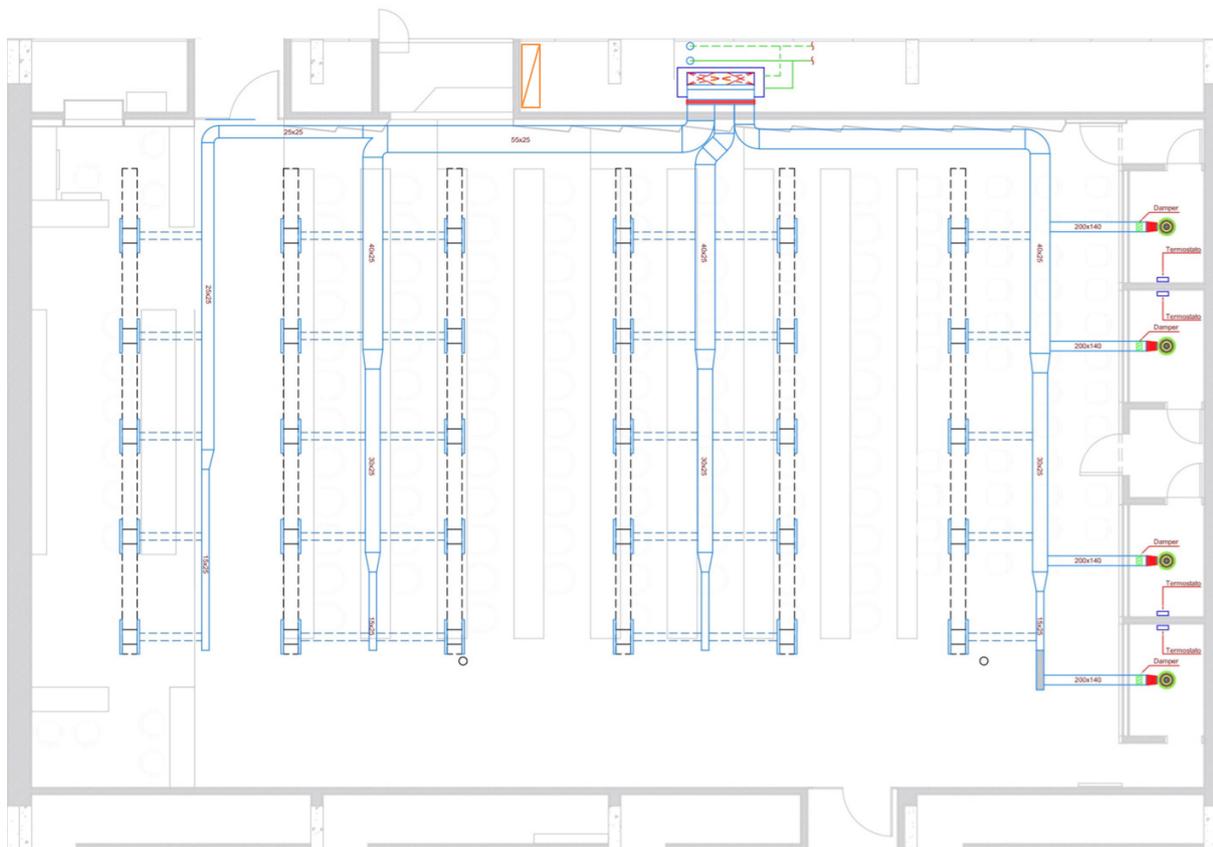


Figura 6.5: Planta do Plenário 02 das comissões com a representação esquemática do sistema atual de ar condicionado.

Já o suprimento do ar de exterior para o *fancoil* é realizado por meio de uma grelha difusora (representada pelo símbolo laranja na Figura 6.5 que insufla ar na região técnica onde está ins-

talado o equipamento. Os dutos de ar percorrem o edifício até a casa de máquinas, que possui um exaustor, alimentado por ar exterior captado longe de fontes poluidoras. O retorno do ar condicionado é dado pela captação de ar ambiente por alguns *troffers*, que são intercalados aos de insuflamento, então ocorre a mistura de ar na casa de máquinas, que alimenta o *fan coil*.

6.2.4.1 Instrumentação

O sistema de instrumentação da ventilação é constituído por três sensores de monitoramento de sinais, não de controle. Há dois que medem a temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar, um deles está situado dentro do plenário; e, o outro, no retorno do *fan coil*. O terceiro sensor é mais simples e apenas realiza medições de temperatura de bulbo seco do ar de insuflamento. Já para o controle da vazão de água gelada no *fan coil* ocorre por meio de um termostato, de acordo com a demanda do ambiente. Os modelos dos sensores estão disponibilizados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Sensores instalados para monitoramento de sinais do sistema de ar condicionado do plenário.

Modelo do sensor	Sinais medidos
DHT22	Temperatura de bulbo seco e umidade relativa
DS18B20	Temperatura de bulbo seco
EXT-RCF-24	Temperatura de bulbo seco

Fonte: Elaboração do autor.

6.2.5 Vazão de Ar Exterior

A vazão de ar exterior para manter a qualidade do ar exterior adequada é variável, porém é possível calcular o valor máximo. Para tanto, a ABNT faz uso da metodologia descrita na NBR 16401-3 (2008), que trata o cálculo da vazão eficaz por meio de duas parcelas: a primeira em razão da área total do ambiente e segunda relacionada à ocupação, conforme a Equação 4.10.

$$V_{ef} = P_z F_p + A_z F_a$$

Em que,

V_{ef}	é a vazão de ar exterior eficaz	[L/s]
F_p	é a vazão de ar por pessoa	[L/s · pessoa]
F_a	é a vazão por área ocupada	[L/s · m ²]
P_z	é o número máximo de ocupantes	[pessoa]
A_z	é a área útil ocupada	[m ²]

Nota-se que os valores de vazão de ar por pessoa e vazão por área ocupada são tabelados pela norma e dependem do tipo de atividade que é desempenhada no ambiente e o nível, que varia de 1 a 3 (ver Figura 6.6).

Local	D pessoas/ 100 m ²	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s · m ^{2 a}
		F _p L/s · pess.	F _a L/s · m ²	F _p L/s · pess.	F _a L/s · m ²	F _p L/s · pess.	F _a L/s · m ²	
Edifícios públicos								
Aeroporto – saguão ^c	15	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Aeroporto – sala de embarque ^c	100	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Biblioteca	10	2,5	0,6	3,5	0,8	3,8	0,9	--
Museu, galeria de arte ^d	40	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Local de culto	120	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Legislativo – plenário	50	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório – lobby	150	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório e platéia	150	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--
Teatro, cinema, auditório – palco	70	5	0,3	6,3	0,4	7,5	0,5	--
Tribunal – sala de audiências	70	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--

Figura 6.6: Vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação (ABNT, 2008. Modificada)

Para o dimensionamento da ventilação de ar externo é necessário optar por um dos três níveis presentes na norma. Em virtude de o Nível 1 já apresentar coeficientes que resultam em vazões satisfatórias, isto é, que asseguram a qualidade do ar interior e mitigam a sujeição dos ocupantes a síndromes, opta-se por fazer o cálculo baseado nos parâmetros do Nível 1. Resulta-se, portanto, em uma vazão de $V_{ef} = 475l/s$.

Na secção seguinte, será avaliada, por meio das simulações computacionais no programa DesignBuilder, se a vazão calculada mantém os níveis de CO₂ dentro do limite também estipulado pela NBR 16401-3 (2008). Em razão do nível do dióxido de carbono no ar ser de aproximadamente 400 ppm em Brasília, o valor máximo da concentração deve ser de 1100 ppm no interior do plenário.

Apesar disso, a utilização de tecnologias para controle de demanda de ar exterior baseadas no nível de concentração de CO₂, em ppm, altera a carga térmica e, conseqüentemente, consumo energético das simulações, cujos valores são apresentados na secção seguinte.

6.2.6 Perfil de carga térmica

A partir dos parâmetros listados nas subsecções anteriores foi modelado o plenário na extensão do OpenStudio 1.5.0 para o *software* Sketchup Pro 2022 e utilizado o DesignBuilder versão 7.0.2.006 para realizar o cálculo de carga térmica do ambiente legislativo em estudo. Com isso, obteve-se a Carga Térmica de 36,06 kW (10,25 TR), constituída pelo somatório das cargas dispostas na Figura 6.7. Os resultados da simulação que fundamentam esse capítulo estão dispostos no Apêndice A.

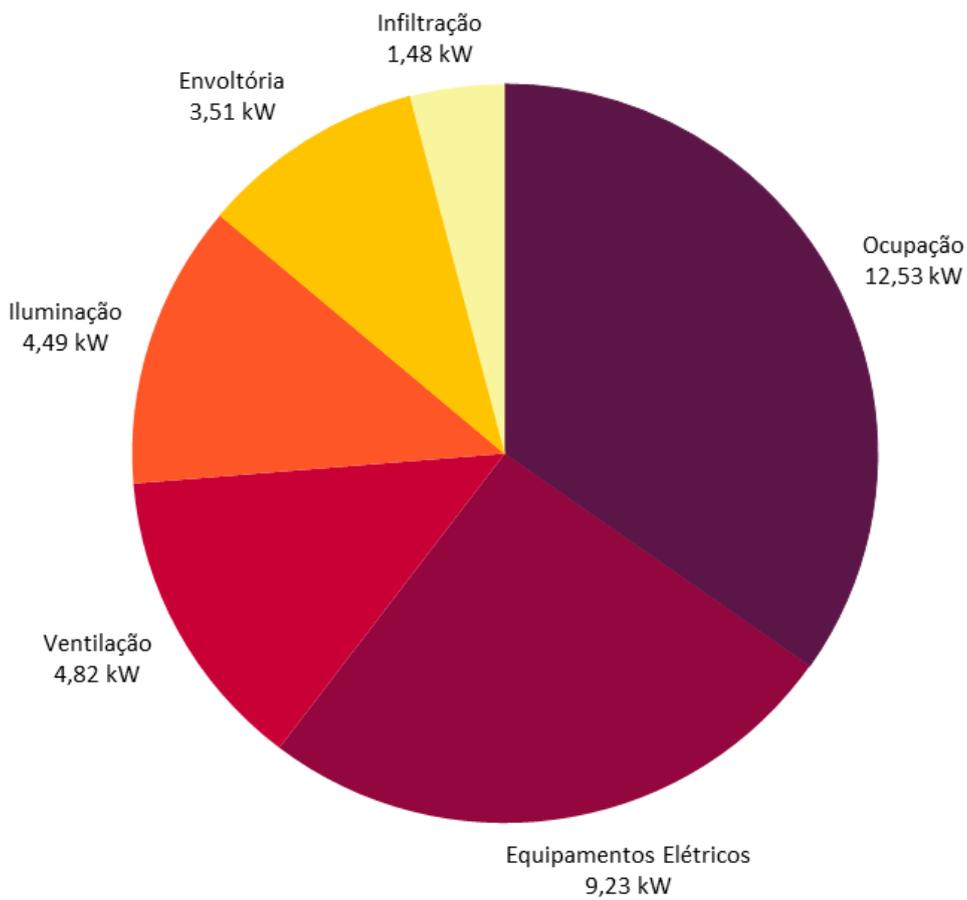


Figura 6.7: Fontes de calor e seus respectivos impactos na composição da carga térmica.

7 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Inicialmente foram realizadas as simulações do cenário padrão do sistema de climatização e ventilação, em que não utiliza-se recuperação de energia e ventilação controlada por demanda para os três níveis de ventilação de ar exterior. O intuito desses procedimentos consiste em avaliar se o nível de ventilação eleito no Capítulo 6 é suficiente para assegurar que a concentração de CO₂ no ambiente não ultrapasse o limite imposto pela Norma NBR 16401-3 e, caso não sejam obtidos resultados satisfatórios, avaliar qual nível de ventilação deve ser selecionado.

Sequencialmente, foram simulados e avaliados os seguintes cenários: i) solução convencional AVAC; ii) sistema com ERV entre os fluxos de ar; iii) solução convencional somada a ventilação controlada por demanda; e iv) combinação do ERV com VCD. Os resultados das simulações estão podem ser acessados no Apêndice B.

7.1 SIMULAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂

O nível 1 de ventilação de ar exterior de acordo com a NBR 16401-3 é o nível com menores coeficientes para assegurar a qualidade mínima do ar interior de um recinto, dessa maneira, foi simulada a concentração de dióxido de carbono no interior do plenário, de acordo o perfil de ocupação descrito na Figura 7.1. A simulação foi realizada para o horário comercial, das 08:00 até as 18:00, cujos pontos obtidos são intervalados de 15 minutos (ver Figura 7.2).

É possível observar que durante o período matutino, a concentração do contaminante permaneceu dentro do limite estipulado normativamente, porém, no período da tarde, em que há a ocupação máxima, a vazão de ar exterior não é suficiente para manter a qualidade do ar interior nos padrões aceitáveis, expondo os ocupantes a concentrações elevadas por mais de duas horas. Com isso, simulou-se o mesmo sistema com níveis mais elevados (2 e 3) de vazão de ar externo (consultar valores na Tabela 7.1), de forma a obter os perfis apresentados na Figura 7.3.

Nota-se que mesmo com o Nível 2 de vazão, os ocupantes ainda estão expostos a níveis elevados de CO₂. Por mais que o valor seja ligeiramente superior ao normativo, o tempo de exposição é de aproximadamente uma hora, intervalo considerável.

Com isso, será escolhida a vazão eficaz de 735, 2 l/s, pois ela protege os ocupantes da exposi-

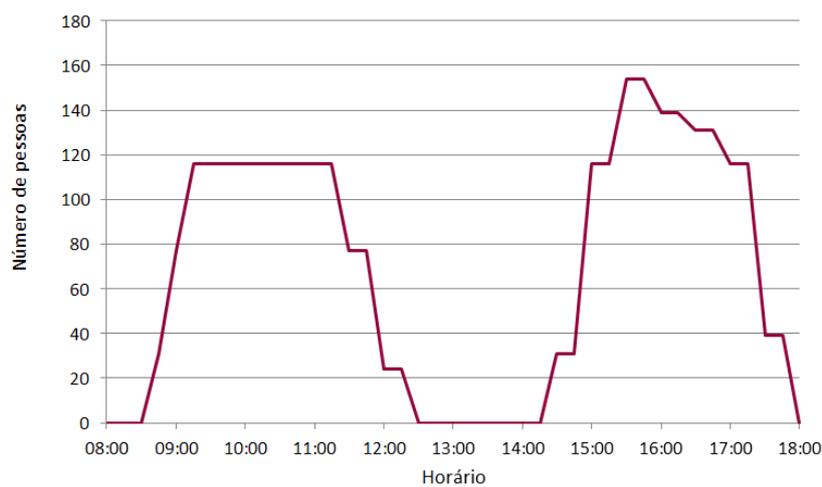


Figura 7.1: Perfil de ocupação em um dia padrão de atividade.

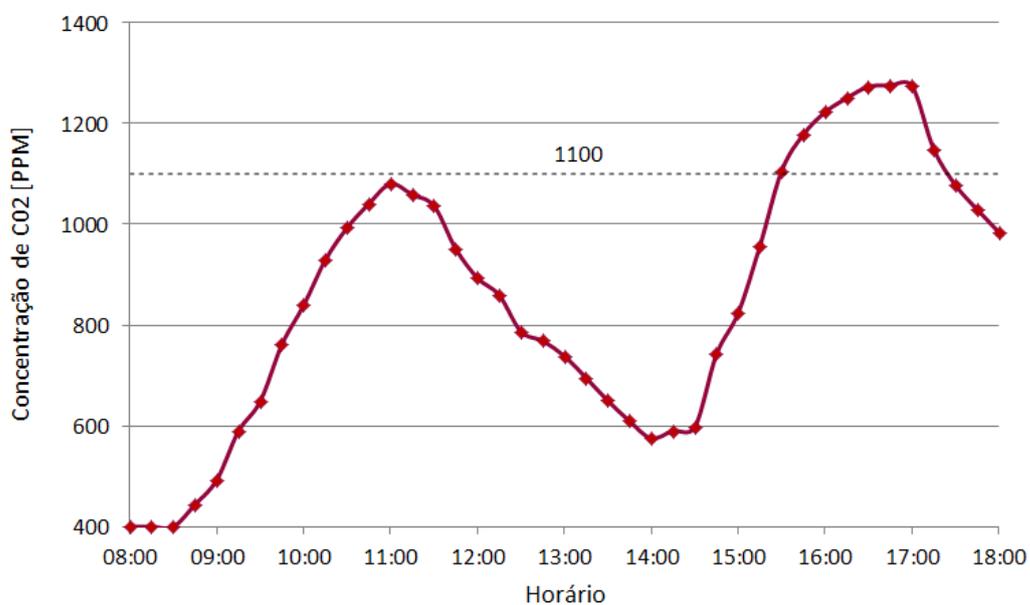


Figura 7.2: Concentração de dióxido de carbono no interior do Plenário, considerando um dia padrão de atividade.

ção prolongada ao contaminante, além de que há evidências na literatura que esse fluxo contribui para mitigar as reclamações e manifestações alérgicas entre os ocupantes (ABNT, 2008).

Tabela 7.1: Níveis de ventilação de ar exterior e vazões correspondentes para o Plenário.

Níveis	1	2	3
Vazão Eficaz [l/s]	475,0	659,0	732,5

Fonte: Elaboração do autor.

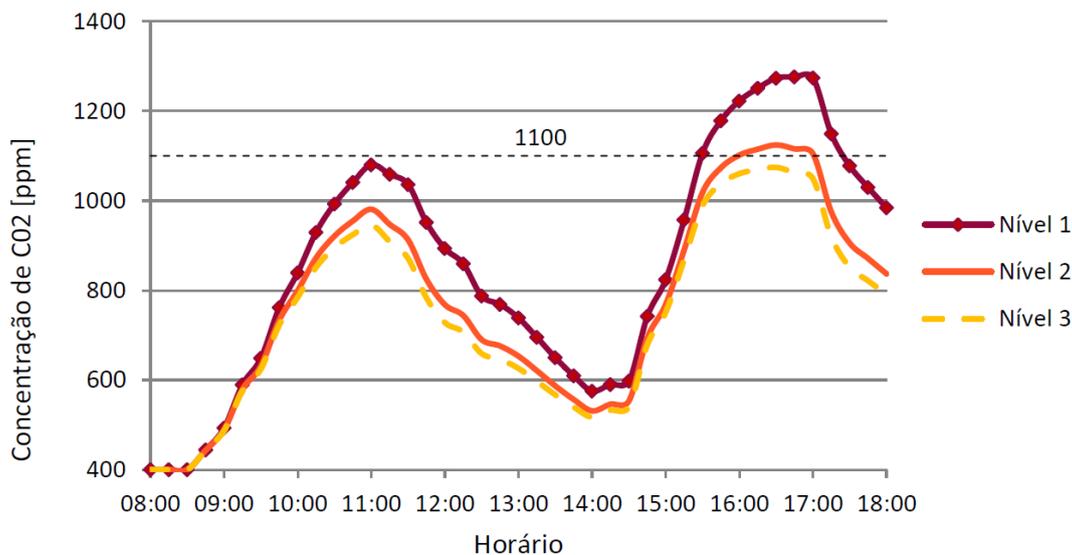


Figura 7.3: Concentração de dióxido de carbono no interior do Plenário para diferentes níveis, considerando um dia padrão de atividade.

7.2 RESULTADOS DOS CENÁRIOS PROPOSTOS

Nessa seção estão dispostos os resultados dos quatro cenários, evidenciando a curva de carga térmica, a vazão de ar exterior, a concentração de CO₂ no recinto de acordo com o horário e a curva de consumo elétrico da instalação termomecânica.

7.2.1 Cenário 1 - Solução existente

Este primeiro cenário corresponde ao sistema de climatização e ventilação do plenário da forma que é instalado atualmente, constituído por um *fan coil* alimentado por ar de recirculação misturado com ar exterior, sem utilização de mecanismos de ventilação controlada por demanda e ERV (vide Figura 7.4). A vazão de ar exterior é de 2646,72 m³/h considerando a ocupação máxima de 154 pessoas, distribuídos numa área de aproximadamente 300 m².

Ao realizar a simulação do primeiro cenário para a duração de um ano, foi possível obter informações relevantes sobre o sistema de ar condicionado do plenário. Dentre os resultados obtidos, destacam-se a curva de carga térmica (Figura 7.5), o consumo de energia elétrica dos equipamentos que compõem o sistema (*chiller*, ventiladores, bombas de água e torre de resfriamento) (Figura 7.6), além da concentração de CO₂ (Figura 7.7). Os resultados estão compilados no Apêndice C.

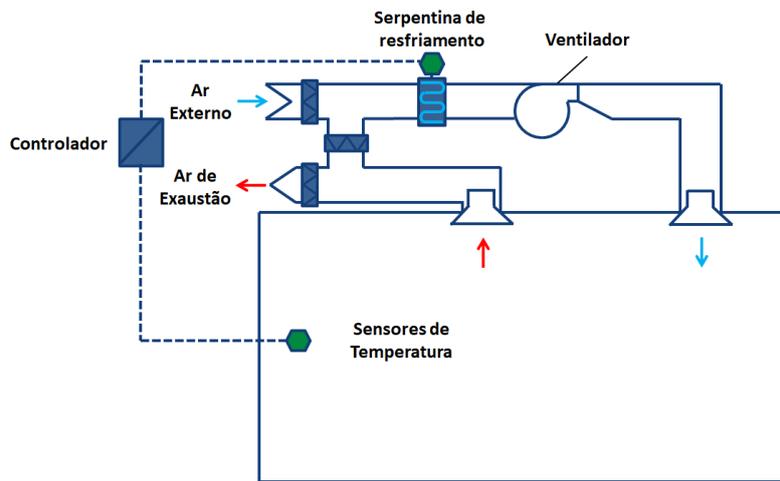


Figura 7.4: Representação esquemática do cenário convencional do sistema AVAC.

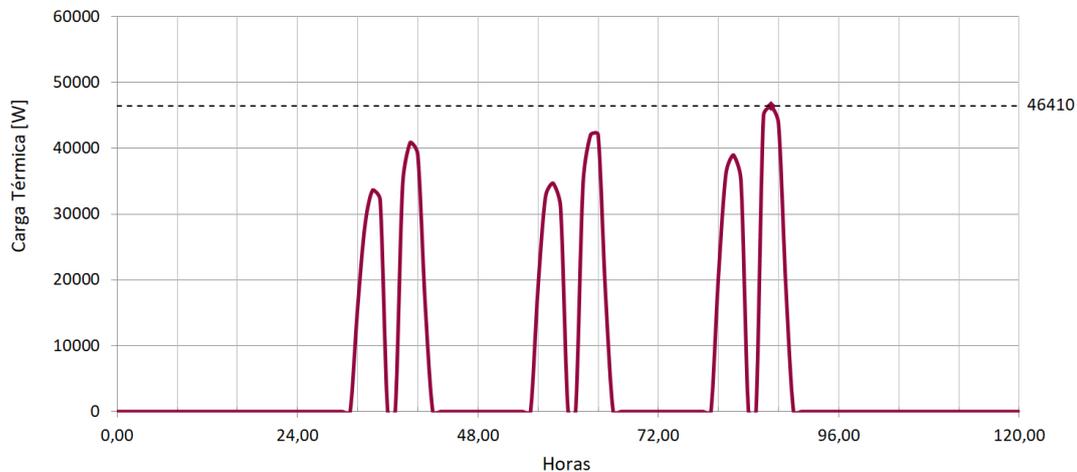


Figura 7.5: Curva de carga térmica para o plenário na semana de maior demanda de refrigeração. O período avaliado corresponde a uma semana útil, isto é, de Segunda-Feira à Sexta-Feira.

A partir da curva de demanda de refrigeração correspondente à semana de pico, conclui-se que o valor da carga térmica de 46410 W (13,20 TR) é diferente daquele calculado anteriormente no Capítulo 6, isso ocorre pois o modelo elaborado no DesignBuilder utiliza equipamentos com parâmetros que se aproximam da realidade, diferentemente da condição de *Ideal Air Loads*, recurso utilizado anteriormente. Além do mais, vale ressaltar que o cálculo anterior considerava um nível de ventilação inferior.

Para o consumo de energia elétrica, tem-se que o valor demandado mensalmente varia consideravelmente durante o ano, apresentando um maior nível em Outubro. A partir da curva obtida é possível quantificar o consumo anual, que para o ano de simulação, resultou num consumo de energia elétrica de 11.241 kWh, valor de referência para comparação com os cenários seguintes,

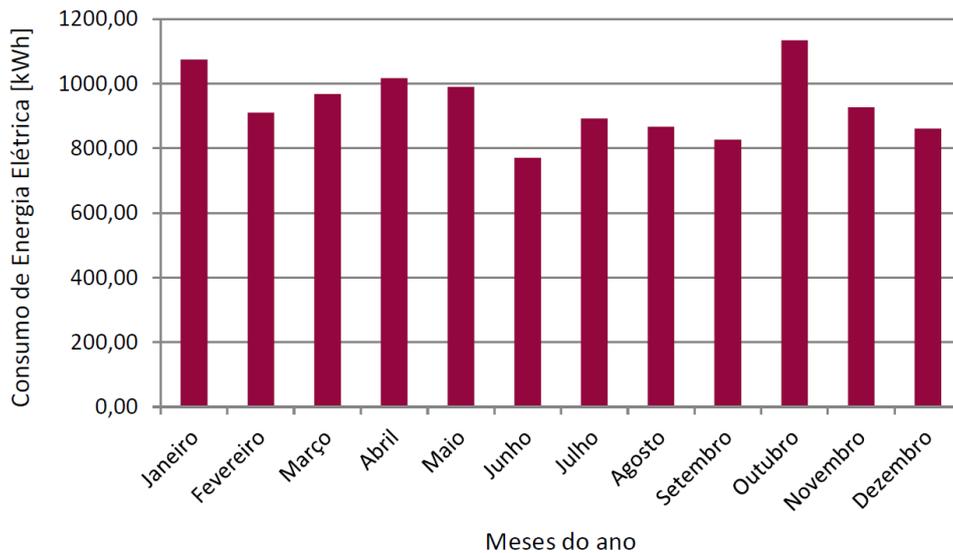


Figura 7.6: Consumo elétrico mensal do sistema HVAC.

nos quais são esperadas reduções tanto de carga térmica quanto de consumo.

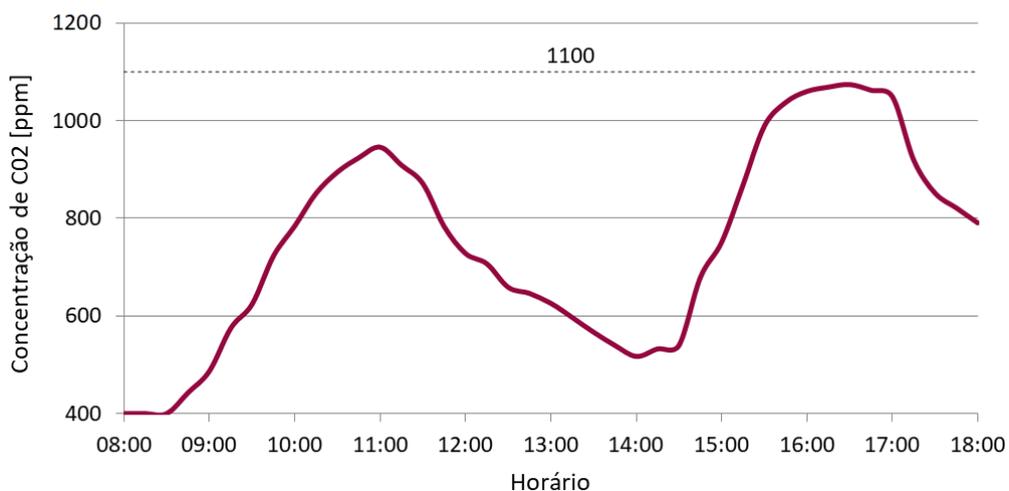


Figura 7.7: Concentração de CO₂ no ambiente ao longo do horário comercial.

Por fim, foi obtida a curva da concentração de dióxido de carbono para um dia de atividade no plenário. Ressalta-se que o valor de vazão, conforme mostrado na Seção 7.1, foi eleito com o intuito de proteger os ocupantes a exposições a concentração elevada do gás por longos períodos.

7.2.2 Cenário 2 - Solução existente com ERV

O segundo cenário corresponde ao sistema de climatização e ventilação do plenário com um ERV instalado entre os dutos de ar de exaustão e o de insuflamento de ar externo, consti-

tuído por um *fan coil* alimentado por ar de recirculação misturado com ar exterior (vide Figura 7.8). Ressalta-se que nessa condição, a entrada e a exaustão de ar possuem vazão fixa igual a $2.646,72 \text{ m}^3/h$. Diante disso, mostra-se necessário instalar um damper para a recirculação de ar e para a entrada de ar de exterior e regulá-los de maneira a manter a porcentagem de ar de fresco fixa.

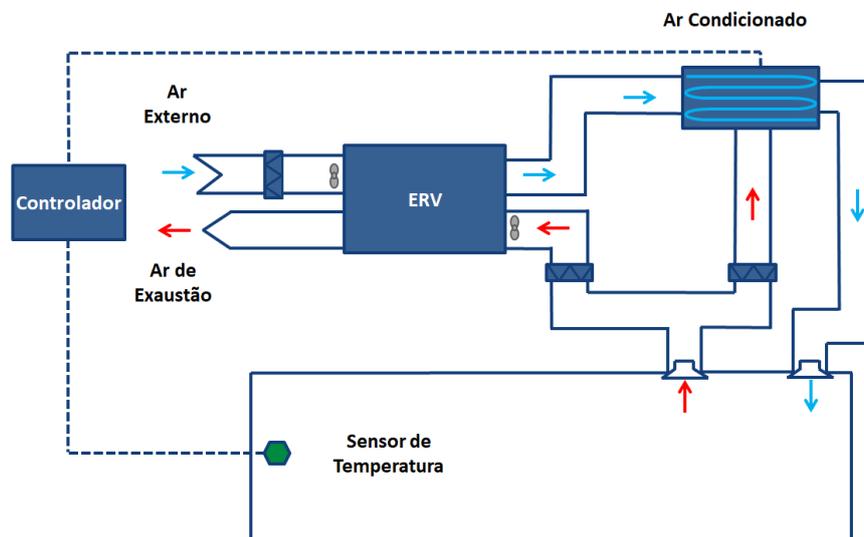


Figura 7.8: Representação esquemática do cenário convencional do sistema AVAC acrescido de ERV.

Ao realizar a simulação do cenário com apenas o ERV para a duração de um ano, foi possível obter informações relevantes sobre o sistema de ar condicionado do plenário. Dentre os resultados obtidos, destacam-se a curva de carga térmica (Figura 7.9), o consumo de energia elétrica dos equipamentos que compõem o sistema (*chiller*, ventiladores, bombas de água e torre de resfriamento) (Figura 7.10), além da concentração de CO_2 (Figura 7.11). Os resultados da simulação estão dispostos no Apêndice D.

A partir da curva de demanda de refrigeração correspondente à semana de pico, conclui-se que o valor da carga térmica de 37.118 W ($10,55 \text{ TR}$). Nota-se que houve uma redução entre os cenários, o que pode ser explicado pela diminuição da carga de ventilação de ar externo, haja vista que o ERV promove o pré-resfriamento.

Para o consumo de energia elétrica, tem-se que o valor demandado mensalmente varia consideravelmente durante o ano, apresentando um maior nível em Outubro, assim como no cenário anterior. Ao realizar uma análise de redução mensal foi constatado que a diminuição ficou entre 1 e 9,15%. A partir da curva obtida é possível quantificar o consumo anual, que para o ano de simulação, resultou num consumo de energia elétrica de 10.505 kWh , uma redução de 6,55%

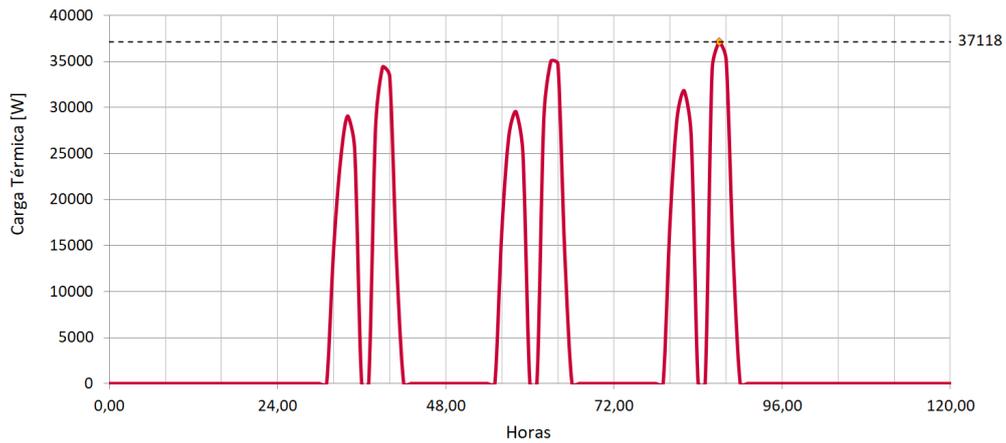


Figura 7.9: Curva de carga térmica para o plenário na semana de maior demanda de refrigeração. O período avaliado corresponde a uma semana útil, isto é, de Segunda-Feira à Sexta-Feira.

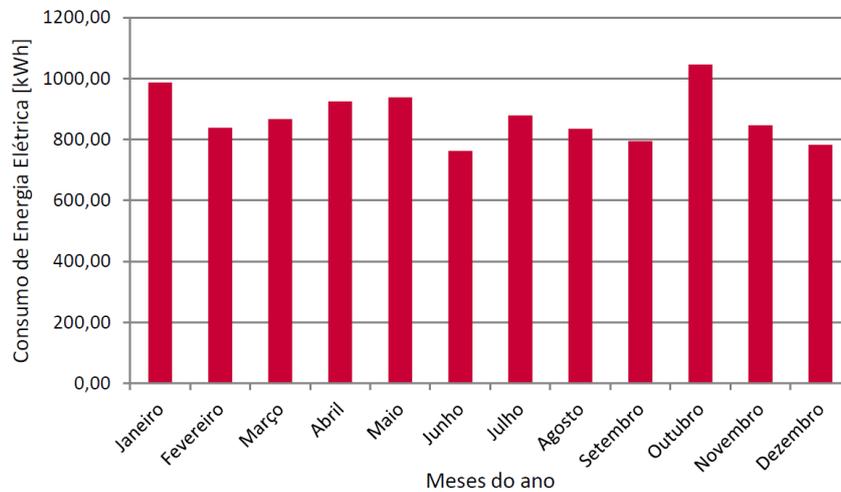


Figura 7.10: Consumo elétrico mensal do sistema HVAC.

quando comparado com a solução convencional.

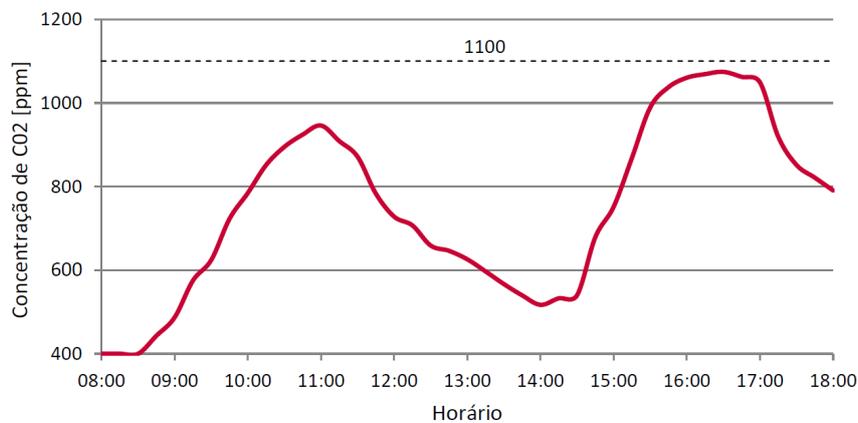


Figura 7.11: Concentração de CO₂ no ambiente ao longo do horário comercial.

Por fim, foi obtida a curva da concentração de dióxido de carbono para um dia de atividade no plenário. Ressalta-se que a curva de concentração não apresentou mudanças em relação ao primeiro cenário, já a taxa de ventilação e a porcentagem de ar exterior da mistura foram mantidas.

7.2.3 Cenário 3 - Solução com VCD

O terceiro cenário corresponde ao sistema de climatização e ventilação do plenário com instrumentação que permite controlar a taxa de ventilação de ar exterior, constituído por um *fan coil* alimentado por ar de recirculação misturado com ar exterior (vide Figura 7.12). Ressalta-se que nessa condição, a entrada e a exaustão de ar possuem vazão variável. Diante disso, mostra-se necessário instalar um damper para a recirculação de ar e para a entrada de ar de exterior e regulá-los de maneira a manter concentração de CO₂ inferior a 1100 ppm.

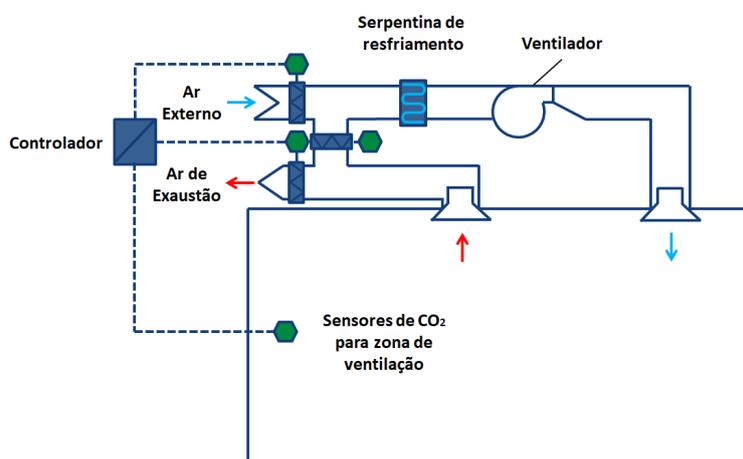


Figura 7.12: Representação esquemática do cenário convencional do sistema AVAC acrescido de ventilação controlada por demanda de CO₂.

Ao realizar a simulação, porém, foi possível avaliar que a taxa de ventilação não foi suficiente para manter a concentração dentro dos limites impostos pela ABNT NBR 16401-3 (2008) (ver Figura 7.13), de maneira que foi necessário aumentar a vazão máxima de ar exterior para até $0,9644 \text{ m}^3/\text{s}$ ($3.471,84 \text{ m}^3/\text{h}$), obtendo-se a curva de concentração horária presente na Figura 7.14. Os resultados da simulação estão dispostos no Apêndice E.

Ao realizar a simulação do cenário com ventilação controlada por demanda, com o novo valor de vazão máxima, foi possível obter informações relevantes sobre o sistema de ar condicionado do plenário. Dentre os resultados obtidos, destacam-se a curva de carga térmica (Figura 7.15) e o consumo de energia elétrica dos equipamentos que compõem o sistema (*chiller*, ventiladores, bombas de água e torre de resfriamento) (Figura 7.16).

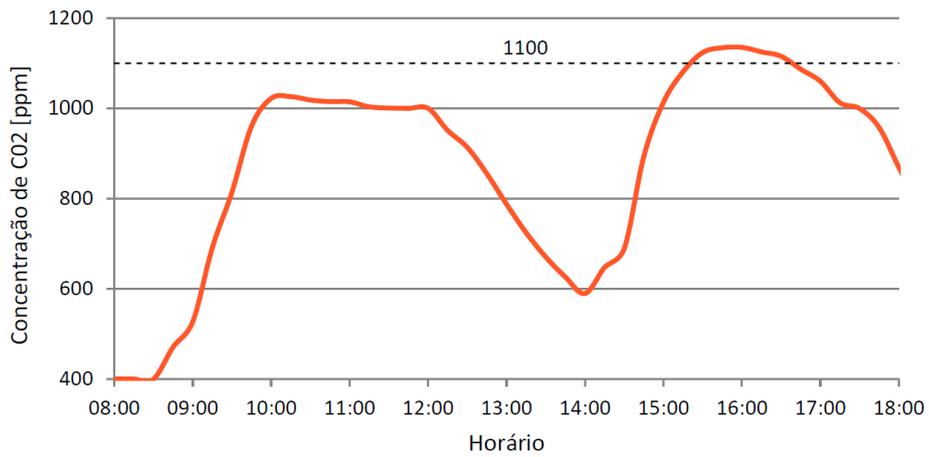


Figura 7.13: Concentração de CO₂ no ambiente ao longo do horário comercial.

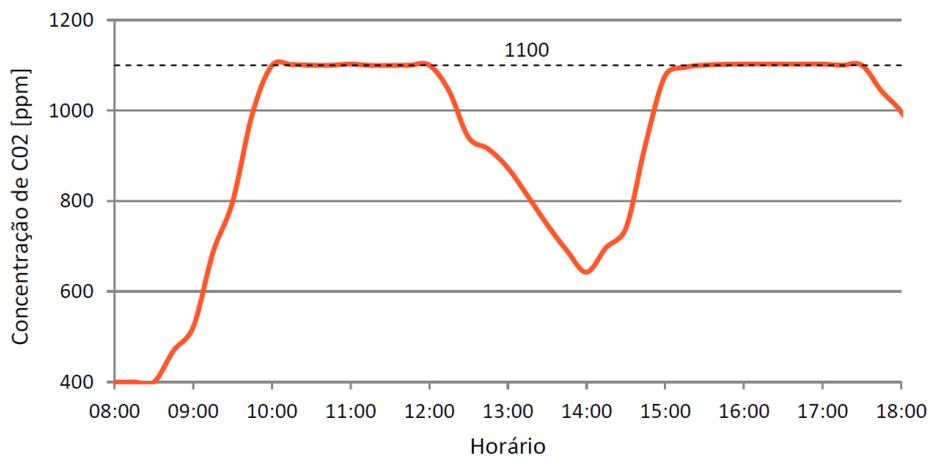


Figura 7.14: Concentração de CO₂ no ambiente ao longo do horário comercial para novo valor de vazão.

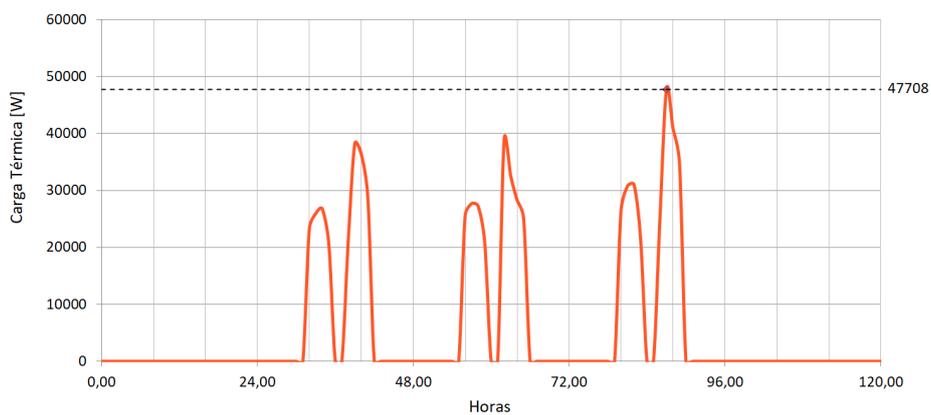


Figura 7.15: Curva de carga térmica para o plenário na semana de maior demanda de refrigeração. O período avaliado corresponde a uma semana útil, isto é, de Segunda-Feira à Sexta-Feira.

A partir da curva de demanda de refrigeração correspondente à semana de pico, conclui-se que o valor da carga térmica de 47.708 W ($13,57\text{ TR}$). Nota-se que houve um aumento entre os cenários convencional e o que utiliza apenas a ventilação controlada por demanda, isso pode ser explicado pelo fato de que no momento de maior carga térmica, a taxa de ventilação mais alta demandou de uma maior remoção de calor por parte da serpentina de resfriamento.

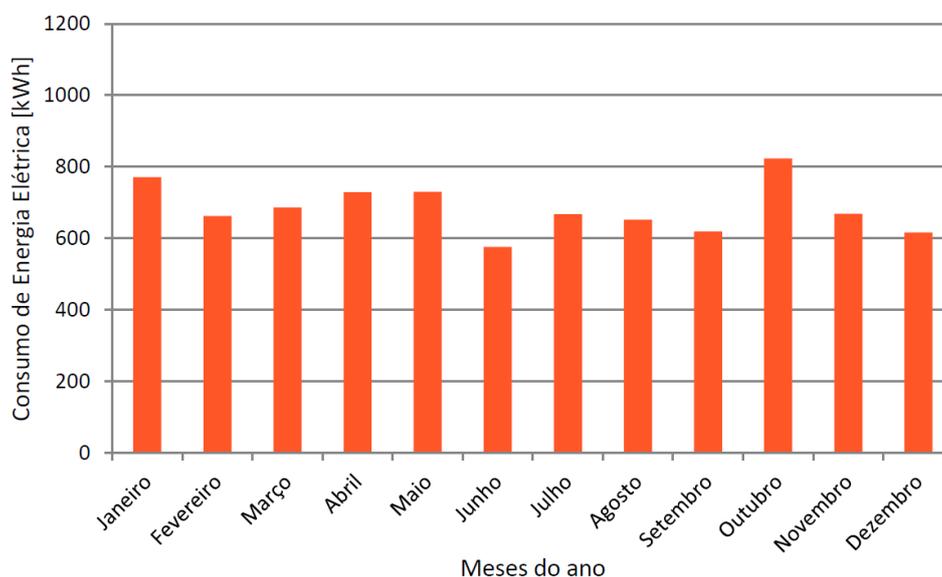


Figura 7.16: Consumo elétrico mensal do sistema HVAC.

Para o consumo de energia elétrica, tem-se que o valor demandado mensalmente varia consideravelmente durante o ano, apresentando um maior nível em Outubro, assim como no cenário anterior. Ao realizar uma análise de redução mensal foi constatado que a diminuição ficou entre 24,78 e 29,11%. A partir da curva obtida é possível quantificar o consumo anual, que para o ano de simulação, resultou num consumo de energia elétrica de 8.201 kWh , uma redução de 27% quando comparado com a solução convencional.

7.2.4 Cenário 4 - Solução com ERV e VCD

O quarto e último cenário corresponde ao uso combinado de ERV e instrumentação para VCD no sistema de climatização e ventilação do plenário, constituído por um *fan coil* alimentado por ar de recirculação misturado com ar exterior (vide Figura 7.12). Ressalta-se que nessa condição, a entrada e a exaustão de ar possuem vazão variável, que permite taxas de até $0,9644\text{ m}^3/\text{s}$ ($3.471,84\text{ m}^3/\text{h}$), além disso ocorre a recuperação de energia entre os fluxos de ar de exaustão e de insuflamento de ar externo. Diante disso, mostra-se necessário instalar um damper para a

recirculação de ar e para a entrada de ar de exterior e regulá-los de maneira a manter concentração de CO₂ inferior a 1100 ppm.

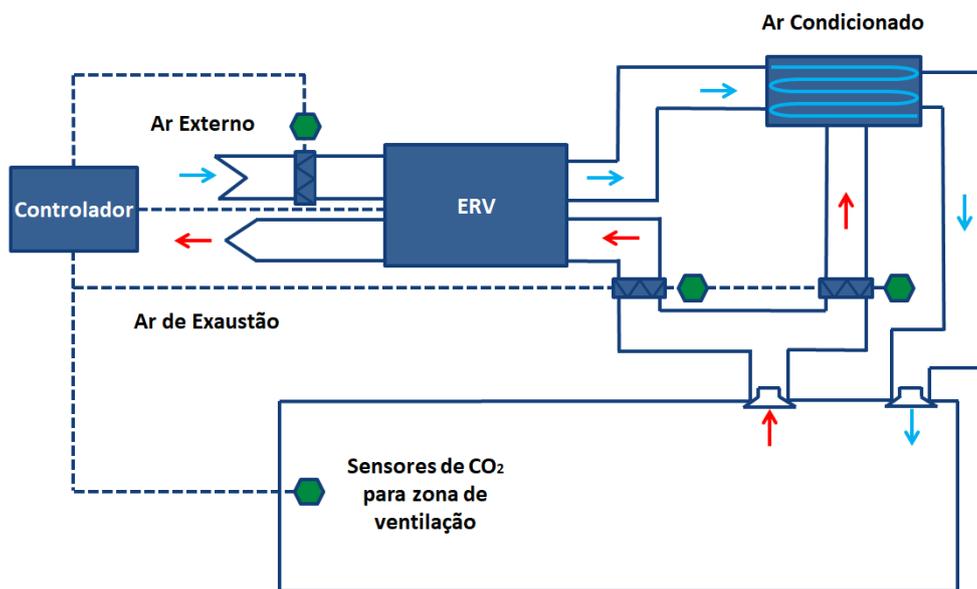


Figura 7.17: Representação esquemática do modelo de climatização combinado com ventilação controlada por demanda e recuperador de energia.

Ao realizar a simulação do primeiro cenário para a duração de um ano, foi possível obter informações relevantes sobre o sistema de ar condicionado do plenário. Dentre os resultados obtidos, destacam-se a curva de carga térmica (Figura 7.18), o consumo de energia elétrica dos equipamentos que compõem o sistema (*chiller*, ventiladores, bombas de água e torre de resfriamento) (Figura 7.19), além da concentração de CO₂ (Figura 7.20). Os resultados da simulação estão dispostos no Apêndice F.

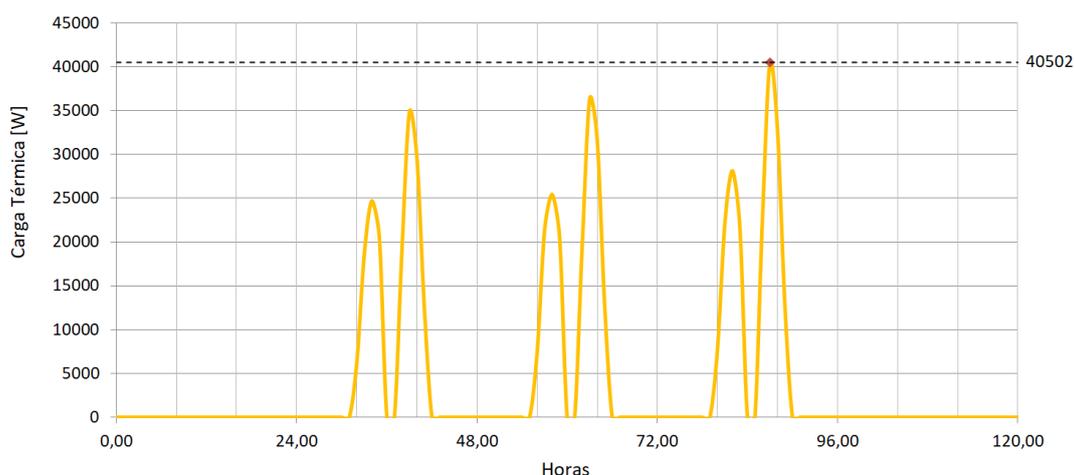


Figura 7.18: Curva de carga térmica para o plenário na semana de maior demanda de refrigeração. O período avaliado corresponde a uma semana útil, isto é, de Segunda-Feira à Sexta-Feira.

A partir da curva de demanda de refrigeração correspondente à semana de pico, conclui-se que o valor da carga térmica de 40.502 W (11,51 TR). Nota-se que houve uma redução entre os cenários, o que pode ser explicado pela diminuição da carga de ventilação de ar externo, haja vista que o ERV promove o pré-resfriamento. Entretanto, quando esse cenário é comparado com o segundo, em que há apenas a utilização do ERV, observa-se que o aumento da vazão de ar exterior para manter os níveis de CO₂ promoveu o incremento da carga térmica.

Para o consumo de energia elétrica, tem-se que o valor demandado mensalmente varia consideravelmente durante o ano, apresentando um maior nível em Outubro, assim como no cenário anterior. Ao realizar uma análise de redução mensal foi constatado que a diminuição ficou entre 25 e 31,15%. A partir da curva obtida é possível quantificar o consumo anual, que para o ano de simulação, resultou num consumo de energia elétrica de 8.066 kWh, uma redução de 28,2% quando comparado com a solução convencional.

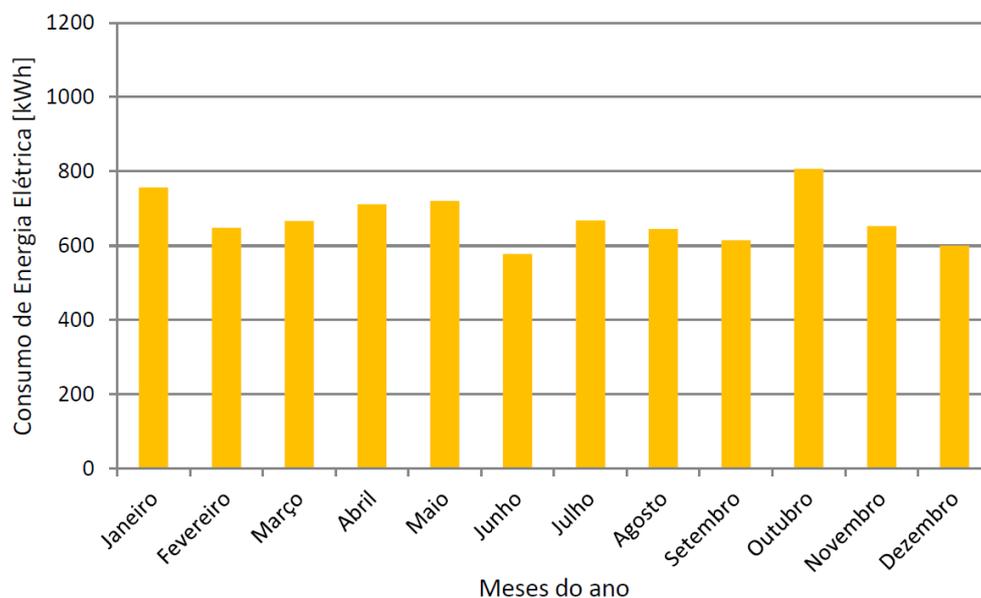


Figura 7.19: Consumo elétrico mensal do sistema HVAC.

Por fim, foi obtida a curva da concentração de dióxido de carbono para um dia de atividade regular no plenário. Ressalta-se que a curva de concentração não foi alterada, quando comparada com ao terceiro cenário, uma vez que a taxa de ventilação mecânica máxima foi mantida a mesma. Observa-se que o limite superior da concentração do gás não ultrapassou os limites estabelecidos normativamente.

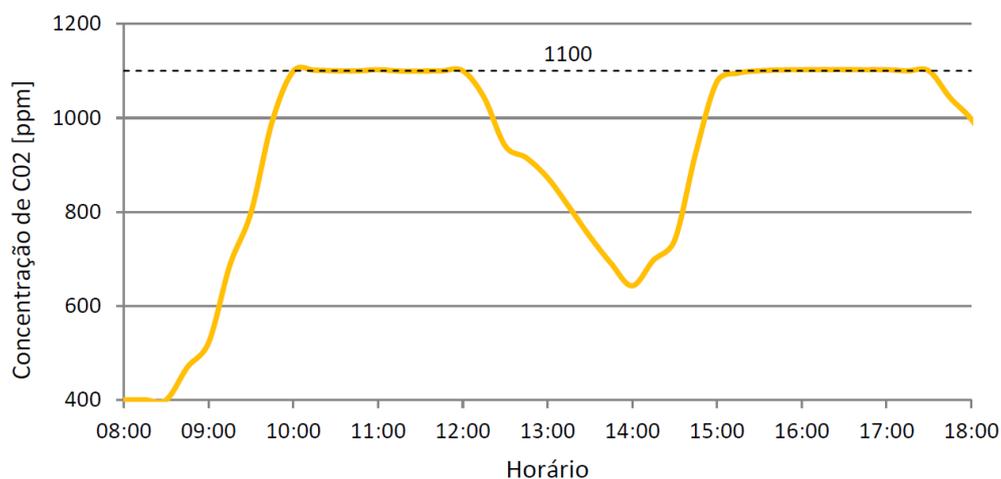


Figura 7.20: Concentração de CO₂ no ambiente ao longo do horário comercial.

7.2.5 Comparação entre cenários

A partir dos resultados obtidos com a simulação energética dos diferentes cenários propostos, compilou-se as variáveis de interesse na Tabela 7.2.5, de maneira que seja facilitada a identificação dos recursos tecnológicos implementados no sistema AVAC dos cenários e as reduções em carga térmica e consumo de energia elétrica no ano de simulação.

Tabela 7.2: Resultados de carga térmica e consumo de energia elétrica anual para os diferentes cenários e as suas respectivas reduções percentuais em comparação com a solução convencional.

Cenários	Recursos		Carga Térmica		Consumo Elétrico Anual	
	ERV	VCD	Valor [kW]	Redução [%]	Valor [kWh]	Redução [%]
Cenário 1	-	-	46,4	-	11241	-
Cenário 2	×	-	37,1	20,0	10505	6,6
Cenário 3	-	×	47,7	-2,8 ¹	8201	27,0
Cenário 4	×	×	40,5	12,7	8066	28,2

¹Nota: o sinal negativo indica que houve o incremento da carga térmica.

As Figuras 7.21 e 7.22 apresentam os valores máximos da demanda de insumos elétricos e de capacidade de refrigeração dos diferentes cenários simulados.

Avalia-se que a carga térmica foi superior para o cenário em que há a implementação exclusiva de ventilação controlada por demanda, isso se deve ao fato de que foi necessário incrementar a

vazão de ar exterior para manter a concentração de CO₂ dentro dos limites normativos, pois o controle desse contaminante no ambiente pode ser utilizado como indicador de qualidade de ar interior. Já no cenário 4, que também utiliza maior vazão de ar exterior, possivelmente tem a carga térmica reduzida em razão do ERV, que pré-condiciona o ar de insuflamento.

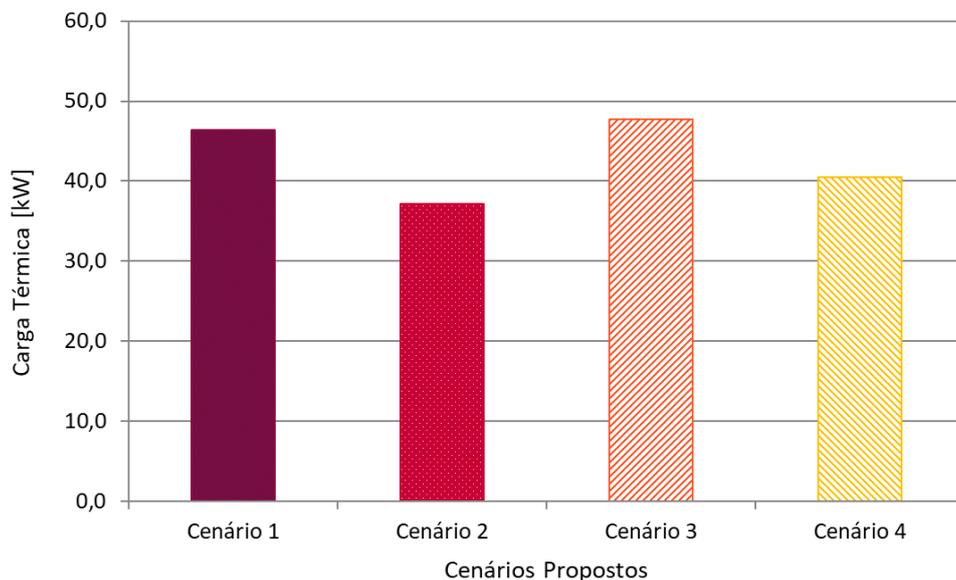


Figura 7.21: Comparação entre as cargas térmicas simuladas para os diferentes cenários.

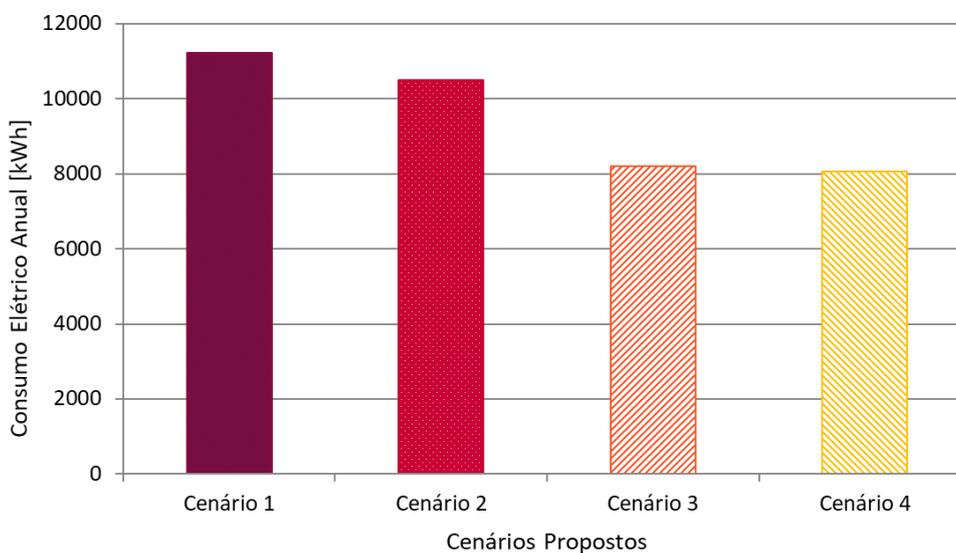


Figura 7.22: Comparação entre o consumo de energia elétrica anual para os diferentes cenários.

8 ANÁLISES DE VIABILIDADE ECONÔMICA

De acordo com os resultados obtidos com as simulações computacionais, todos os novos cenários, isto é, aqueles nos quais foram adicionadas tecnologias de VCD e/ou ERV, apresentaram economia no consumo de energia elétrica. Esse fato, porém, não é suficiente para afirmar que a implementação desses mecanismos no sistema de ar condicionado do ambiente em questão é vantajosa do ponto de vista econômico para a Administração Pública.

8.1 ESTIMATIVA DOS CUSTOS

É imprescindível avaliar se a redução dos custos operacionais durante o ciclo de vida desses equipamentos é suficiente para cobrir o incremento dos custos iniciais (aquisição e implementação das tecnologias) do sistema. Dessa forma, será feita uma estimativa dos custos iniciais e operacionais dos cenários simulados. A análise de viabilidade econômica será orientada pelo período de retorno do investimento e pela economia gerada em uma década, tempo estimado de vida útil para o sistema. No Apêndice G está a tabela com todos os produtos, suas especificações, valores base e suas referências de preço.

8.1.1 Custos Operacionais

Inicialmente será feita a estimativa de custos operacionais, isto é, aqueles necessários para o manutenção das atividades do investimento. Esses custos pagos periodicamente são divididos entre a mão de obra e fornecimento de peças para manutenção (preventiva, preditiva e corretiva) dos sistemas e o insumo de energia elétrica.

Para tanto, utilizou-se o quinto termo aditivo, que trata da prorrogação do contrato 39/2020 do órgão, cujo objeto trata da prestação de serviços de manutenção, operação de sistemas AVAC-R. O contrato conta com uma vigência atual de 01/03/2023 a 29/02/2024 e possui um preço global que envolve o pagamento do salário, benefícios e décimo terceiro salário da mão de obra, o sistema do registro de frequência, previsão para prestação de serviços extraordinários, fornecimento de material e serviços diversos. Portanto, estimou-se o preço de manutenção com base na capacidade da instalação termomecânica (ver Tabela 8.1). O valor estimado da taxa de reajuste anual do valor

de manutenção será dado por meio da diferença percentual entre o quito e o terceiro termo aditivo do contrato, cuja vigência contempla o período de 01/03/2022 a 28/02/2023.

Tabela 8.1: Estimativa de custo de manutenção com base no termo aditivo em vigência do contrato 039/2020 da Câmara dos Deputados.

Contrato 39/2020	Câmara dos Deputados
Empresa Contratada	PROCLIMA
Preço Global Anual Aditivo 5 (R\$)	10.183.649,23
Preço Global Anual Aditivo 3 (R\$)	8.743.146,92
Qte. Fancoletes e Fan Coils	1637
Qte. Splits, Self Contained e Self Dual Fluid	349
Capacidade Instalada Água Gelada (TR)	7365
Capacidade Instalada Fluido Refrigerante (TR)	872,5 ¹
Custo Anual de Manutenção (R\$/TR)	1236,25
Taxa de Reajuste (%)	8,89
Custo de Manutenção Primeiro Ano (R\$)	18.543,75 ²

¹Nota: - Valor médio de 2,5 TR para cada equipamento.

²Nota: - Valor considerado em todos os cenários (15 TR).

Deve ser avaliado, agora, o gasto anual referente à alimentação elétrica dos sistemas de ar condicionado para cada cenário. Dessa maneira, utilizou-se a tarifa do grupo B da Neoenergia, que atende as instituições comerciais, voltadas para os serviços e Outras atividades. O valor atualizado da tarifa para o mês de dezembro do ano de 2023 é de 0,7662 R\$/kWh (Neoenergia, 2023). Para os anos seguintes será estimado o reajuste médio de 9,95% anual para baixa tensão, que corresponde à porcentagem de reajuste da Neoenergia em Outubro de 2023 (PEGN, 2023).

8.1.2 Custos Iniciais

Pelos levantamentos de carga térmica realizados, observou-se que o sistema AVAC carece de atualização no *fan coil* e no ventilador. Com isso, será realizado um levantamento do custo inicial do primeiro cenário e o cálculo do retorno do investimento para cada cenário considerará a diferença entre seu custo de investimento inicial e o do cenário 1. Os sensores de temperatura e umidade não serão contabilizados, pois eles serão reaproveitados do sistema existente.

Inicialmente, estimou-se o preço do investimento para o cenário 1, que é constituído pelo preço de aquisição e instalação dos equipamentos listados na Tabela 8.2.

Tabela 8.2: Investimento inicial para aquisição de equipamentos para o cenário 1.

Componente	Valor Unitário	Qte.	Valor Final
Condicionador de Ar <i>fan coil</i> - 15 TR	R\$ 15.969,78	1	R\$ 15.969,78
Ventilador Centrífugo Siroco Monofásico; Vazão = 3000 m ³ /h; Pressão = 60 mmCA.	R\$ 5.750,00	1	R\$ 5.750,00
Total			R\$ 21.719,78

O investimento inicial para o cenário 2 exige modificações na estrutura do sistema de ar condicionado, uma vez que os ventiladores do ERV que realizarão as trocas de ar. Ademais, não foi encontrado recuperadores de calor com a capacidade de vazão demandada pelo ambiente legislativo, o que exigiu a aquisição de 2 unidades de menor capacidade para viabilizar o cenário proposto (ver Tabela 8.3). Observou-se que a aplicação do ERV contribuiu para a redução da carga térmica, de forma que a capacidade e, conseqüentemente, o custo inicial relacionado à unidade de climatização fosse inferior.

Tabela 8.3: Investimento inicial para aquisição de equipamentos para o cenário 2.

Componente	Valor Unitário	Qte.	Valor Final
Condicionador de Ar <i>fan coil</i> - 12,5 TR	R\$ 14.965,68	1	R\$ 14.965,68
Recuperador de calor CRS 150, Sicflux. Vazão Ins. = 630 m ³ /h. Pot Abs. = 450 W	R\$ 6.971,69	1	R\$ 6.971,69
Recuperador de calor CRS 355, Sicflux. Vazão Ins. = 2.017 m ³ /h. Pot Abs. = 1850 W. Trifásico - 380 V.	R\$ 9.815,69	1	R\$ 9.815,69
Carel IR33E99HR20 115/230V	R\$ 1.956,39	1	R\$ 1.956,39
Total			R\$ 33.709,45

Já o terceiro cenário, isto é, aquele em que há apenas o recurso de ventilação controlada por demanda, exigiu um ventilador de maior vazão de ar para manter os níveis de CO₂ dentro dos limites normativos, porém o incremento de carga térmica não foi alto o suficiente para que fosse necessária a aquisição de uma unidade de tratamento de ar superior.

Esse cenário exige que o ventilador seja capaz de modular a sua vazão em razão da concentração do dióxido de carbono presente no ambiente, dessa maneira é necessário adquirir um inversor de frequência para o motor do ventilador, atuadores para os 3 dampers, de maneira que sejam regulada a vazão entre os dutos, quatro sensores de QAI distribuídos no plenário e um controlador que seja capaz de captar os sinais dos sensores e modular a atuação de todos esses itens (ver Tabela 8.4).

Tabela 8.4: Investimento inicial para aquisição de equipamentos para o cenário 3.

Componente	Valor Unitário	Qte.	Valor Final
Condicionador de Ar <i>fan coil</i> - 15 TR	R\$ 15.969,78	1	R\$ 15.969,78
Ventilador Centrífugo Siroco Monofásico; Vazão = 3480 m ³ /h; Pressão = 85 mmCA.	R\$ 7.805,00	1	R\$ 7.805,00
Inversor de Frequência WEG CFW300 Monofásico. Potência = 2 cv. Tensão = 220 V. Corrente Nominal = 7,3 A.	R\$ 1474,21	1	R\$ 1474,21
Carel IR33E99HR20 115/230V	R\$ 1.956,39	1	R\$ 1.956,39
NFBUP - BELIMO - Atuador de <i>Damper</i> 90 in-LB [10 Nm], Retorno por Mola.	R\$ 1.499,90	3	R\$ 4.449,70
Sensor de Qualidade do ar MQ-135. Faixa: 100 - 10.000 ppm. Tensão: 5 V.	R\$ 20,90	4	R\$ 86,30
ADPS-04-2-n Dwyer Pressostato Diferen- cial de ar ON/OFF.	R\$ 368,82	2	R\$ 737,64
Total			R\$ 32.479,02

O quarto cenário combina tanto a atuação da ventilação controlada por demanda quanto do ERV. Dessa forma, o investimento deve cobrir os custos de 2 ERVs, que possuem maior vazão de ar exterior, a automação (sensores de QAI, controlador, dampers) para a VCD e o *fan coil* possui a mesma capacidade do cenário 2. A diferença nesse sistema em comparação com os outros cenários é que o segundo ERV deve possuir maior capacidade para atender a maior necessidade de vazão e o inversor de frequência também deve ser de maior capacidade, haja vista que ele atenderá no mesmo barramento 4 motores (2 para cada ERV) (ver Tabela 8.5).

Tabela 8.5: Investimento inicial para aquisição de equipamentos para o cenário 4.

Componente	Valor Unitário	Qte.	Valor Final
Condicionador de Ar <i>fan coil</i> - 12,5 TR	R\$ 14.965,68	1	R\$ 14.965,68
Recuperador de calor CRS 355, Sicflux. Vazão Ins. = 2.017 m ³ /h. Pot Abs. = 1850 W. Trifásico - 380 V.	R\$ 9.815,69	2	R\$ 19.631,38
Inversor de Frequência WEG CFW500 Trifásico. Potência = 2 cv. Tensão = 380 V. Corrente Nominal = 10 A.	R\$ 4.068,68	1	R\$ 4.068,68
Carel IR33E99HR20 115/230V	R\$ 1.956,39	1	R\$ 1.956,39
NFBUP - BELIMO - Atuador de Damper 90 in-LB [10 Nm], Retorno por Mola.	R\$ 1.499,90	3	4.499,5 70
Sensor de Qualidade do ar MQ-135. Faixa: 100 - 10.000 ppm. Tensão: 5 V.	R\$ 20,90	4	R\$ 86,30
ADPS-04-2-n Dwyer Pressostato Diferencial de ar ON/OFF.	R\$ 368,82	2	R\$ 737,64
Total			R\$ 47.045,77

Nota-se que o custo inicial dos cenários 2 e 3 são bastante próximos (R\$ 33.709,45 e R\$ 32.479,02, respectivamente) , porém o uso combinado dessas tecnologias (cenário 4) gera um investimento consideravelmente superior (R\$ 47.045,77). Em seguida serão avaliados os tempos de retorno para justificar qual cenário mostra-se mais vantajoso.

8.2 RESULTADOS

Nessa subseção são apresentados os resultados obtidos das análises de viabilidade econômica para os cenários que utilizam e/ou combinam as tecnologias de recuperação de energia e ventilação controlada por demanda. As planilhas de cálculo realizadas e que fundamentam os resultados obtidos estão apresentadas no Apêndice H.

8.2.1 Cenário 2 - Solução existente com ERV

De acordo com a simulação computacional realizada, a utilização do ERV contribuiu tanto para a redução da carga térmica da unidade de tratamento de ar, quanto para a do consumo de energia. A redução do pico de demanda viabilizou a aquisição de um *fan coil* de 12,5 TR, contra o de 15 TR do primeiro cenário, apesar disso, o preço combinado de ambos os ERVs é superior ao preço da unidade de tratamento de ar, UTA, o que penaliza o investimento inicial para o cenário proposto. A economia acumulada em função dos anos de vida está representada na Figura 8.1.



Figura 8.1: Gráfico da economia acumulada pela utilização do ERV por ano.

Pelos pontos obtidos, foi realizada a interpolação do gráfico de economia acumulada por tempo, com o intuito de estipular o tempo de retorno do investimento (vide Figura 8.2). Pelas raízes do polinômio obtidas, tem-se que o retorno de investimento se daria em 12 anos e 2 meses, período de tempo superior ao tempo de vida estimado.

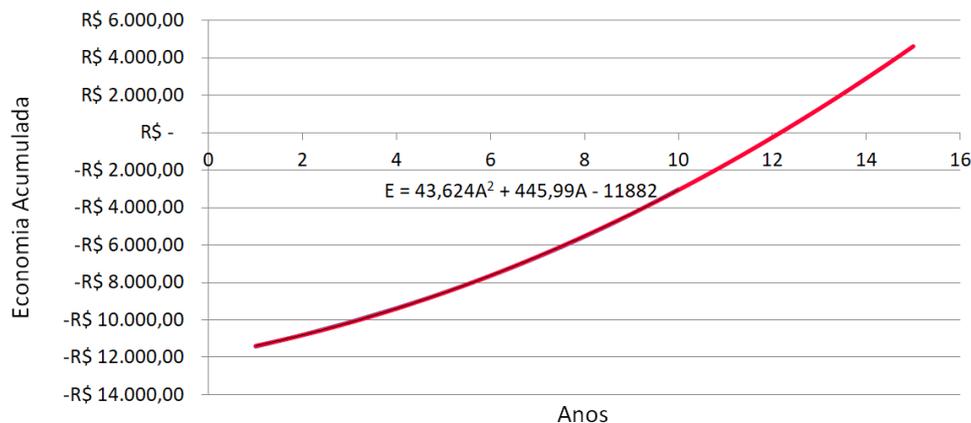


Figura 8.2: Curva interpolada da economia acumulada pela utilização do ERV por ano.

8.2.2 Cenário 3 - Solução com VCD

A aplicação do recurso de ventilação modular controlada pela concentração de CO₂ do ambiente incrementou a carga térmica, porém o aumento não foi suficiente para que fosse preciso um *fan coil* de maior capacidade. Porém, o aumento de vazão de ar para manter a QAI em níveis aceitáveis demanda a aquisição de um ventilador com maior vazão, além de sensores e sistema de automação. Apesar disso, a redução do consumo de energia elétrica foi considerável. A economia acumulada em função dos anos de vida está representada na Figura 8.3.

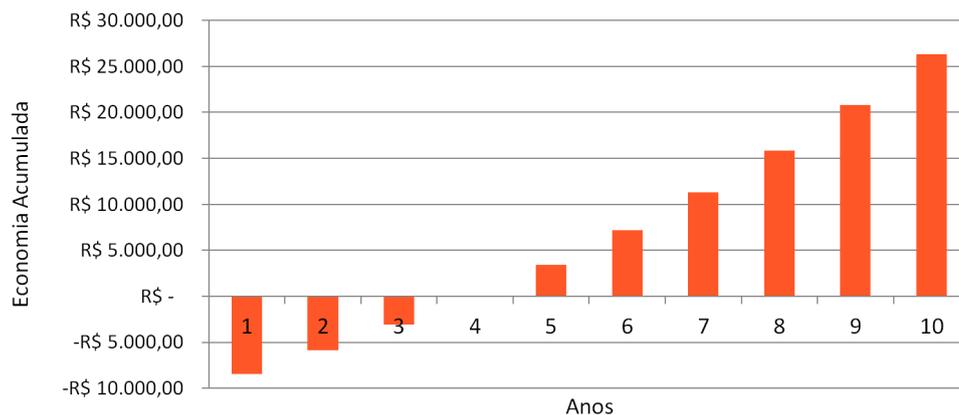


Figura 8.3: Gráfico da economia acumulada pela utilização de VCD por ano.

Pelos pontos obtidos, foi realizada a interpolação do gráfico de economia acumulada por tempo, com o intuito de determinar precisamente o tempo de retorno do investimento (vide Figura 8.4). Pelas raízes do polinômio obtidas, tem-se que o retorno de investimento em 4 anos, o que indica que o acúmulo na redução do consumo de energia elétrica superou o investimento inicial.

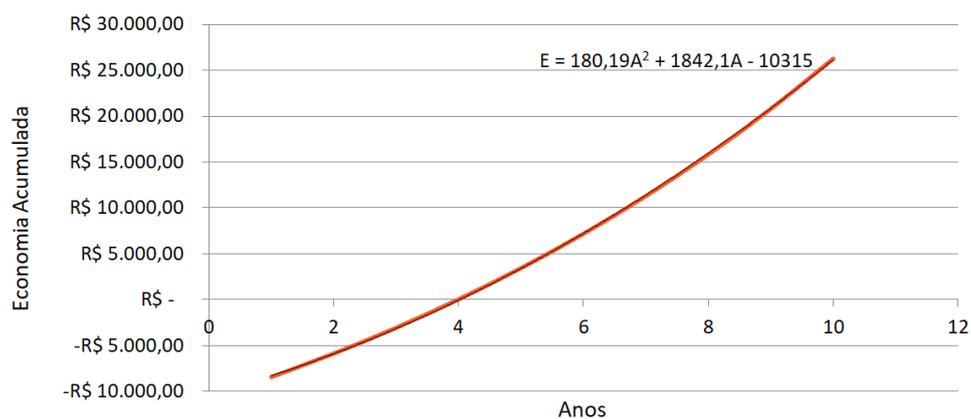


Figura 8.4: Curva interpolada da economia acumulada pela utilização de VCD por ano.

8.2.3 Cenário 4 - Combinação de ERV com VCD

A implementação de ambas as tecnologias combinadas resulta em um investimento inicial consideravelmente mais elevado do que os sistemas propostos nos outros cenários. Entretanto, tem-se pelas simulações computacionais que do ponto de vista do consumo energético, o quarto cenário foi o que apresentou menor consumo, o que implica em menores custos operacionais. Embora o cenário promova uma redução na carga térmica, o custo dos ERVs é bastante superior à redução de um *fan coil* de 15 TR para um de 12,5 TR. A economia acumulada em função dos anos de vida está representada na Figura 8.5.

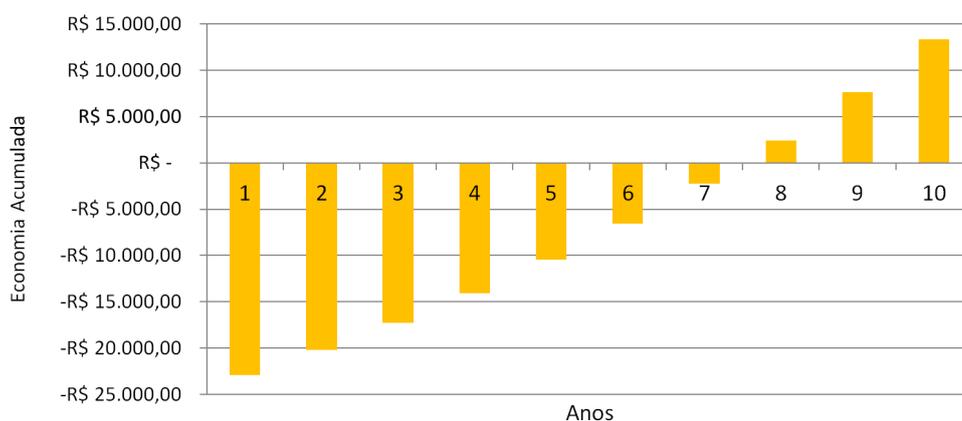


Figura 8.5: Gráfico da economia acumulada pela utilização de VCD e ERVs por ano.

A partir da interpolação do gráfico de economia acumulada por tempo (ver Figura 8.6), tem-se que o retorno de investimento em 7 anos e 6 meses, aproximadamente, o que indica que o acúmulo na redução do consumo de energia elétrica superou o investimento inicial, porém com um tempo de retorno superior aos cenário 3.

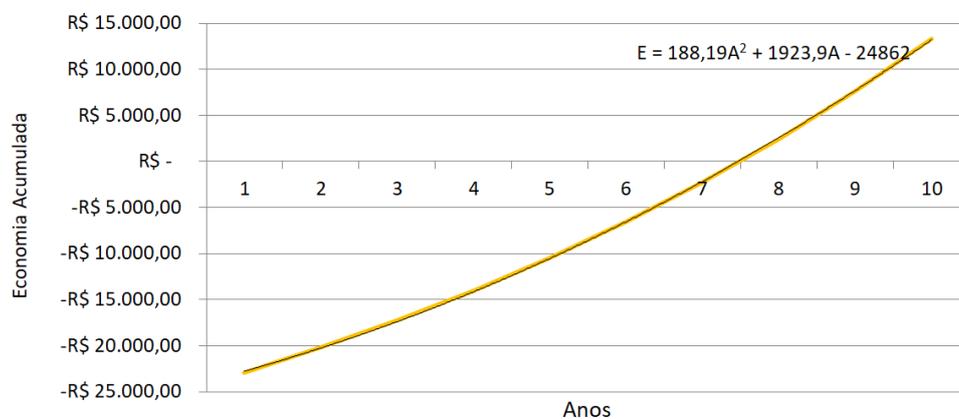


Figura 8.6: Curva interpolada da economia acumulada pela utilização de VCD e ERVs por ano.

8.2.4 Comparação entre Cenários

A partir das análises realizadas é possível comparar os cenários, cujos parâmetros estão compilados na Tabela 8.6. Infere-se que o terceiro cenário apresentou o menor tempo de retorno dentre todos os cenários analisados e que a economia acumulada ao longo de 10 anos foi a mais alta, de R\$ 26.274,09, valor 2,44 vezes maior do que o investimento inicial. O cenário 4 apresentou o segundo melhor resultado, mostrando-se ainda vantajoso, haja vista que o período de retorno é inferior à sua vida útil. Por fim, a utilização apenas do ERV acarretaria em prejuízos para a Administração Pública.

Tabela 8.6: Custos inerentes e tempo de retorno de investimento para todos os cenários.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Custos Operacionais Totais				
Manutenção		R\$ 404.707,33		
Insumo Elétrico	R\$ 136.938,05	R\$ 127.927,08	R\$ 99.904,72	R\$ 98.260,14
Total	R\$ 541.6445,38	R\$ 532.634,41	R\$ 504.612,05	R\$ 502.967,47
Retorno do Investimento				
Investimento Inicial	R\$ 21.719,78	R\$ 33.709,45	R\$ 32.479,02	R\$ 47.045,77
Aumento do Custo Inicial	-	R\$ 11.989,67	R\$ 10.759,24	R\$ 25.325,99
Retorno do Investimento	-	12 anos e 2 meses	4 anos	7 anos e 6 meses
Economia Acumulada ¹	-	R\$ - 3.023,71	R\$ 26.274,09	R\$ 13.351,91

¹Nota: - Valor referente a 10 anos.

9 CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Esse capítulo final apresenta discussões acerca dos resultados obtidos pelas simulações computacionais e análise econômica do tempo de retorno de investimento para os diferentes cenários. Por fim, são sugeridas propostas para a continuação dessa pesquisa em trabalhos posteriores.

9.1 CONCLUSÕES

O trabalho realizado objetivou a condução de estudos para aliar o conforto térmico, redução de custo operacional, qualidade de ar interior e redução da potência instalada de um sistema de ar condicionado instalado na Câmara dos Deputados, por meio da implementação de tecnologias que reduzem a carga térmica gerada pelo ar de renovação, como os recuperadores de energia e a ventilação controlada por demanda.

Inicialmente foi discutida a relevância da aplicação dessas tecnologias mediante o cenário de alta demanda energética das sociedades atuais. Em sequência foi realizada a revisão bibliográfica, que apresentou diversos estudos sobre o impacto da recuperação de energia e ventilação controlada por demanda na redução de custos iniciais e operacionais dos sistemas AVAC. Nos tópicos seguintes, discutiu-se conceitos fundamentais sobre certificação energética no país, certificação em edificações, recuperação de energia entre fluxos de ar, qualidade do ar e ventilação mecânica.

Posteriormente, introduziu-se a metodologia desse trabalho, que consistiu na construção de quatro modelos distintos do sistema de ar condicionado de um ambiente. O primeiro deles representou a solução convencional de engenharia, com ventilação mecânica fixa e controle apenas na vazão de água gelada na serpentina da unidade de tratamento de ar. Já no segundo cenário, foi uma variação do primeiro, adicionado de um ERV. O terceiro cenário, é constituído de uma solução convencional, porém com controle na vazão de ar exterior com base na concentração de CO₂. Por fim, o último cenário combinou a utilização de ambos os recursos citados.

Sequencialmente foi apresentado o estudo de caso e realizados importantes levantamentos sobre os parâmetros que compõem a zona térmica, como envoltória, fontes internas e externas de

calor, relevantes para os modelos computacionais, cujos resultados de qualidade do ar interior, consumo energético e carga térmica foram apresentados na seção seguinte. Foram realizadas também análises de viabilidade econômica dos cenários, já que a implementação dos recursos acarretaram investimentos iniciais mais elevados, embora tenham reduzido os custos operacionais.

Os resultados das simulações computacionais para o cenário convencional, em que a vazão de ar exterior é fixa, demonstraram que os coeficientes previstos pela NBR 16401-3 no Nível 1 e Nível 2 de ventilação não foram suficientes para proteger os ocupantes da exposição à concentrações excessivas de CO₂ (1100 ppm) nos horários de maior ocupação. Dessa maneira, o valor fixo de ventilação de ar renovação definido no modelo computacional para os cenários 1 e 2, utilizou os coeficientes do Nível 3, que resultou na taxa de 2646,72 m³/h. Já para os cenários com ventilação modular (3 e 4), foi necessário aumentar a vazão para 3.471,84 m³/h, uma vez que em períodos de máxima ocupação, a taxa não estava sendo suficiente para manter a concentração do gás dentro dos limites normativos.

Em suma, tem-se como resultados de carga térmica, redução no consumo de energia e tempo de retorno para os diferentes cenários:

- A utilização do ERV apresentou uma redução de carga térmica considerável quando comparado ao sistema convencional, de 20 %. Apesar da redução expressiva da capacidade do climatizador, o impacto no consumo energético foi inferior aos cenários que utilizam ventilação controlada por demanda, com redução de 6,6 %. A análise de custo benefício infere que a utilização do ERV não se justifica, pois os custos de aquisição e instalação são superiores à economia acumulada pelos custos operacionais.
- A implementação da ventilação controlada por demanda mostrou-se a decisão mais viável economicamente. Embora tenha aumentado a carga térmica do ambiente, não mostrou-se necessário trocar a UTA. Os resultados apontam que a considerável redução no consumo elétrico (27 %) é suficiente para viabilizar o projeto, haja vista que o investimento inicial realizado é pago em pouco mais de 4 anos, gerando uma economia acumulada ao fim de sua vida útil mais de duas vezes superior à diferença entre valor inicial do cenário 1 e cenário 3.
- A implementação de ambas as tecnologias abordadas nesse trabalho mostrou-se a segunda mais vantajosa. Apesar de diminuir a carga térmica, promovendo a troca de um *fan coil* de 15 para 12,5 TR, a diferença de preço entre os equipamentos não é superior ao custo dos

ERVs, que não apresentam contribuições significativas na redução do consumo elétrico. O preço inicial do sistema foi de R\$ 47.045,77, investimento superior aos cenários anteriores. Já o tempo de retorno foi de 7 anos e 6 meses, com uma economia acumulada 1,89 vezes inferior à diferença entre valor inicial do cenário 1 e cenário 4.

9.2 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos posteriores de continuação à pesquisa, cita-se o aprimoramento da modelo computacional com parâmetros reais da instalação existente, de maneira a obter resultados mais acurados. Ademais, propõe-se uma avaliação do modelo do ERV utilizado no EnergyPlus, haja vista que os valores percentuais de economia de energia apresentada em outros trabalhos na literatura foram consideravelmente superiores.

Na análise de ventilação mecânica, recomenda-se avaliação do impacto da utilização de filtros de alta eficiência e purificadores de ar na perda de carga dos ventiladores, bem como no incremento do custo de investimento inicial. Reitera-se, porém, que os ERVs selecionados já são dotados de filtros na admissão de ar externo. Nesse mesmo tema, sugere-se também a abordagem e aplicação das recomendações e normas da ASHRAE para redução do contágio viral em ambientes fechados, após o advento da pandemia do COVID-19.

Por fim, é proposta uma análise mais detalhada para o *retrofit* do ambiente legislativo em questão, uma vez que há fatores que não foram abordados, como a perda de carga em dutos de ar e na serpentina dos equipamentos, mudanças de *layout* necessárias para a aplicação do projeto e inclusão da depreciação do equipamento na análise econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-3: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitário, parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, 2008.

ABRAVA, A. B. de Refrigeração Ar Condicionado Ventilação e A. Cuidando da Qualidade do Ar em Edificações. 201-. Último acesso em 15 de Junho de 2023. Disponível em: <<https://abrava.com.br/departamentos-nacionais/dn-qualindoor-qualidade-do-ar-interno/15125-2/>>.

ALLOCCA, C.; CHEN, Q.; GLICKSMAN, L. R. Design analysis of single-sided natural ventilation. Energy and buildings, Elsevier B.V, LAUSANNE, v. 35, n. 8, p. 785–795, 2003. ISSN 0378-7788.

ALPIN. BREEAM Certification: Everything You Need to Know. 2022. Último acesso em 17 de Julho de 2023. Disponível em: <<https://www.alpinme.com/guide-to-breeam/>>.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 90.1-2019, Energy Standard for Buildings except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, GA, 2019.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Practical Guidance for Epidemic Operation of Energy Recovery Ventilation Systems. Authored by ASHRAE TC 5.5. [S.l.], 2020.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE EPIDEMIC TASK FORCE: Core Recommendations for Reducing Airborne Infectious Aerosol Exposure. [S.l.], 2021.

BABOTA, F. Mechanical ventilation systems with heat recovery for refurbishment projects and new buildings. Bull. Polytech. Inst. Jassy, 2014.

BARBOSA, M. P. Monografia, Estudo de viabilidade dos sistemas de renovação de ar variável e recuperação de energia em unidades de ar condicionado. 136p. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. 2017.

BUILD ENERGY. What is BREEAM? 20-. Último acesso em 17 de Julho de 2023. Disponível em: <<https://www.buildenergy.co.uk/services/breeam/what-is-breeam/>>.

CHO, H. et al. Evaluation of performance of energy efficient hybrid ventilation system and analysis of occupants' behavior to control windows. Building and environment, Elsevier Ltd, Oxford, v. 188, p. 107434, 2021. ISSN 0360-1323.

CHOI, J.-S.; KIM, E.-J. Field test and analysis of energy-saving effects of energy-recovery ventilators on heat-pump electricity consumption in a classroom. Sustainability (Basel, Switzerland), MDPI AG, Basel, v. 11, n. 7, p. 2069, 2019. ISSN 2071-1050.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Conheça a Câmara. 201-. Último acesso em 19 de Maio de 2023. Disponível em: <<https://www2.congressonacional.leg.br/visite/arquivos/>>.

DAIKIN. Chiller Application Guide: Fundamentals of Water and Air Cooled Chillers. 2016. Último acesso em 8 de Julho de 2023. Disponível em: <<http://thermohvac.com/wp-content/uploads/2016/10/Chiller-Application-Guide-31-003.pdf>>.

DESIGN EXPERTS. WHAT'S AN HRV/ERV? 2022. Último acesso em 04 de Julho de 2023. Disponível em: <<https://www.designexperts.ca/resources/whats-an-hrv-erv>>.

EIA, U. E. I. A. Total energy production 2021. 2023a. Último acesso em 07 de Junho de 2023. Disponível em: <<https://www.eia.gov/international/rankings/world?pa=12&u=3&f=A&v=none&y=01\F01\F2021&ev=false>>.

EIA, U. E. I. A. Total energy consumption 2021. 2023b. Último acesso em 07 de Junho de 2023. Disponível em: <<https://www.eia.gov/international/rankings/world?pa=44&u=3&f=A&v=none&y=01\F01\F2021&ev=false>>.

EPE, E. de P. E. Plano nacional de energia 2030. Rio de Janeiro: EPE, 2007.

EPE, E. de P. E. Monitorando o Progresso da Eficiência Energética no Brasil. 2017. Último acesso em 23 de Maio de 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA\%202025-17\%20-\%20\%20Indicadores\%20de\%20Efici\%C3%Aancia\%20Ener\%C3%A9tica.pdf>>.

EPE, E. de P. E. Balanço energético nacional 2018. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

EPE, E. de P. E. Balanço energético nacional 2022, ano base 2021. Rio de Janeiro: EPE, 2022.

FEHRM, M.; REINERS, W.; UNGEMACH, M. Exhaust air heat recovery in buildings. International journal of refrigeration, Elsevier, OXFORD, v. 25, n. 4, p. 439–449, 2002. ISSN 0140-7007.

FERREIRA, P. A. de S. V. M. Sistemas de Ventilação Híbridos em Edifícios: análise energética resultante da implementação de sistemas de ventilação inovativos. 291p. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia, Universidade O Porto, Porto., 2006.

FROTA, S. R. S. A. B. Manual de Conforto Térmico. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GBC BRASIL. Compreenda o LEED. 2017. Último acesso em 29 de Maio de 2023. Disponível em: <<https://www.gbcbrazil.org.br/wp-content/uploads/2017/09/Compreenda-o-LEED-1.pdf>>.

GDF, G. do D. F. Congresso Nacional. 2018. Último acesso em 29 de Maio de 2023. Disponível em: <<https://www.df.gov.br/congresso-nacional/>>.

GONZÁLEZ-TORRES, M. et al. A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers. Energy Reports, v. 8, p. 626–637, 2022. ISSN 2352-4847. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235248472101427X>>.

GRAUDENZ, G. S. et al. Association of air-conditioning with respiratory symptoms in office workers in tropical climate. Indoor air, Munksgaard International Publishers, Oxford, UK, v. 15, n. 1, p. 62–66, 2005.

HEISELBERG, P. HYBVENT: Principles of Hybrid Ventilation. Aalborg, Dinamarca: Aalborg University, 2002.

IEA, P. Net Zero by 2050: A Roadmap for Global Energy Sector. 2021. Último acesso em 07 de Junho de 2023. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf>.

INMET, I. N. de M. Tabela de Dados das estações. 2022. Último acesso em 29 de Maio de 2023. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>>.

KIM, S.-M. et al. Determining operation schedules of heat recovery ventilators for optimum energy savings in high-rise residential buildings. Energy and buildings, Elsevier B.V, LAUSANNE, v. 46, p. 3–13, 2012. ISSN 0378-7788.

KNIJNIK, D. C. Monografia, Aplicação da Norma ASHRAE 90.1 E DA CERTIFICAÇÃO LEED EM EDIFICAÇÃO COMERCIAL. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011.

LI, B.; WILD, P.; ROWE, A. Performance of a heat recovery ventilator coupled with an air-to-air heat pump for residential suites in canadian cities. Elsevier Ltd, v. 21, p. 343–354, 2019. ISSN 2352-7102.

LI, J.; ZMEUREANU, R.; GE, H. Simulation of energy impact of an energy recovery ventilator in northern housing. In: E3S Web of Conferences. Les Ulis: EDP Sciences, 2021. v. 246, p. 10005. ISSN 2267-1242.

MARTINS, M. C. Monografia, Estudo de caso de eficiência energética e controle de qualidade do ar interior em ambiente condicionado. 84p. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. 2018.

MENDELL, M. J. et al. Elevated symptom prevalence associated with ventilation type in office buildings. Epidemiology (Cambridge, Mass.), Williams Wilkins and Epidemiology Resources Inc, PHILADELPHIA, v. 7, n. 6, p. 583–589, 1996. ISSN 1044-3983.

MEREMA, B. et al. Demand controlled ventilation (dcv) in school and office buildings: Lessons learnt from case studies. Energy and buildings, Elsevier B.V, Lausanne, v. 172, p. 349–360, 2018. ISSN 0378-7788.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Conheça o Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE. 2021. Último acesso em 17 de Julho de 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-d-a-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-programa>>.

MME, M. de Minas e E. Conheça o Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL. 2022. Último acesso em 17 de Julho de 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/eficiencia-energetica/pee>>.

MME, M. de Minas e E. Procel - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. 2023. Último acesso em 17 de Julho de 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/procel>>.

MPCE, M. P. do Estado do C. Coronavírus - O que é? Sintomas e Contágio. 2020. Último acesso em 29 de Maio de 2023. Disponível em: <<http://www.mpce.mp.br/coronavirus/o-que-e-sintomas-e-contagio/>>.

MYSEN, M. et al. Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in norwegian primary schools. Energy and buildings, Elsevier B.V, LAUSANNE, v. 37, n. 12, p. 1234–1240, 2005. ISSN 0378-7788.

NEOENERGIA. Tarifas Clientes Baixa Tensão. 2023. Último acesso em 01 de Dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/documents/d/brasil/02_neoenergia-brasil/tarifas-de-energia-eletrica-grupo-b_outubro_2023_reh_n-3-276-pdf?download=true>.

NOTÍCIAS AO MINUTO. Sabe o que é o certificado BREEAM? 2021. Último acesso em 17 de Julho de 2023. Disponível em: <<https://www.noticiasao minuto.com/casa/1710870/sabe-o-que-e-o-certificado-breeam>>.

OE, O. dos E. Código de Ética e Deontologia. 2016. Último acesso em 15 de Maio de 2023. Disponível em: <https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/regulamentos/codigo_ed.pdf>.

OEE, O. of E. E. Heat Recovery Ventilators. 2012. Último acesso em 04 de Julho de 2023. Disponível em: <https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/oee/files/pdf/publications/HRV_EN.pdf>.

ONU, O. O. das N. U. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Último acesso em 10 de Maio de 2023. Disponível em: <<https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>>.

PEGN, R. Aneel aprova reajuste médio de 9,32Brasília. 2023. Último acesso em 01 de Dezembro de 2023. Disponível em: <<https://revistapegn.globo.com/economia/noticia/2023/10/aneel-aprova-reajuste-medio-de-932-nas-tarifas-da-neoenergia-brasilia.ghtml>>.

PMBSF, P. M. B. de S. F. Tudo que você precisa saber sobre a Covid-19. 2022. Último acesso em 26 de Maio de 2023. Disponível em: <<https://www.pmbsf.es.gov.br/noticia/ler/2655/tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-a-covid-19>>.

PODER360. Câmara instala comissão especial que analisará reforma da Previdência. 2019. Último acesso em 01 de Dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.poder360.com.br/congresso/camara-instala-comissao-especial-que-analisara-reforma-da-previdencia/>>.

PRADO, R. T. A.; CARMO, A. T. Qualidade do ar interno. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1999.

PÉREZ-LOMBARD, L. et al. A review of hvac systems requirements in building energy regulations. Energy and buildings, Elsevier B.V, LAUSANNE, v. 43, n. 2, p. 255–268, 2011. ISSN 0378-7788.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings, v. 40, n. 3, p. 394–398, 2008. ISSN 0378-7788. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778807001016>>.

ROBERTSON, G. Sick buildings – effects, causes, analysis and prevention. in: Council on tall buildings and urban habitat. rehabilitation of damaged buildings. Le High University, Bethlehem, 1995.

ROTH, K.; DIECKMANN, J.; BRODRICK, J. Emerging technologies: Demand control ventilation. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Newsletter, p. 91–93, 2003.

SANTOS, U. P. et al. Síndrome dos edifícios doentes em bancários. Rev. Saúde Pública. São Paulo, 26:, v. 6, p. 400–4, 1992.

SEPPÄNEN, O. Effect of epbd on future ventilation systems. REHVA J, v. 2, p. 34–38, 2012.

SEPPANEN, O.; FISK, W. Association of ventilation system type with sbs symptoms in office workers. Indoor air, Blackwell Publishers, Oxford, UK, v. 12, n. 2, p. 98–112, 2002. ISSN 0905-6947.

SHAO, y. et al. Using Variations of the Well-Mixed Room (WMR) Models to Assess Chemical Exposures Part 1: Chamber characterization and two model assessments. 2020.

SICFLUX. O que você precisa saber sobre ventilação. 2020. Último acesso em 20 de Junho de 2023. Disponível em: <<https://sicflux.com.br/blog/o-que-voce-precisa-saber-sobre-ventilacao/>>.

SICFLUX. Lista de Preço - Construção Civil. 2022. Último acesso em 01 de Dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.scribd.com/document/617460049/sicflux>>.

SILVA, L. B. da. Análise da relação entre produtividade e conforto térmico: o caso dos digitadores do Centro de Processamento de Dados da Caixa Econômica Federal do Estado de Pernambuco. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2001.

SOUZA, H. A. d.; RODRIGUES, L. S. Ventilação natural como estratégia para o conforto térmico em edificações. Rem: Revista Escola de Minas, Escola de Minas, v. 65, n. 2, p. 189–194, 2012. ISSN 1807-0353.

STOECKER, W.; JONES, J. Refrigeração e ar condicionado. Tradução: José M. Saiz Jabardo. et al. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

TECVENT. O que é e como funciona a ventilação natural? 2022. Último acesso em 20 de Junho de 2023. Disponível em: <<https://tecvent.com.br/o-que-e-e-como-funciona-a-ventilacao-natural>>.

TEIXEIRA, H. de P. F. Monografia, Proposta de um edifício de caráter experimental segundo o conceito NZEB para a Universidade de Brasília. 115p. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

THAM, K. W. Indoor air quality and its effects on humans—a review of challenges and developments in the last 30 years. Energy and buildings, Elsevier B.V, LAUSANNE, v. 130, p. 637–650, 2016. ISSN 0378-7788.

UGREEN. Padrões Globais De Construção Sustentável: Os Benefícios Da Certificação BREEAM. 2023. Último acesso em 22 de Novembro de 2023. Disponível em: <<https://www.ugreen.com.br/breeam-a-certificacao-que-busca-sustentabilidade-em-edificios/>>.

USGBC. The LEED scorecard provides information on the credits pursued and points earned by a LEED project. U.S. 2023. Último acesso em 22 de Novembro de 2023. Disponível em: <<https://www.usgbc.org/leed-tools/scorecard>>.

VALVERDE, M. S. Modelagem e simulação do impacto da vazão de ar exterior variável e recuperação de energia sobre o desempenho de sistemas de ar condicionado. 2016. 305p. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília., 2016.

WEI, S. et al. Deep learning and computer vision based occupancy co2 level prediction for demand-controlled ventilation (dcv). Journal of Building Engineering, Elsevier Ltd, v. 56, p. 104715, 2022. ISSN 2352-7102.

YAMAMOTO, L. P.; VALVERDE, M. S.; PIMENTA, J. M. D. Aspectos relacionados à eficiência energética e qai em recuperadores de energia. ABRAVA + Climatização Refrigeração, p. 24–31, 2023. ISSN 2358-8926.

YANG, L.; YAN, H.; LAM, J. C. Thermal comfort and building energy consumption implications – a review. Applied energy, Elsevier Ltd, OXFORD, v. 115, p. 164–173, 2014. ISSN 0306-2619.

ZHANG, J.; LIU, G.; DASU, A. Review of literature on terminal box control, occupancy sensing technology and multi-zone demand control ventilation (dcv). U.S. Department of Energy, 2012.

ANEXO A - CATÁLOGO ERV SICFLUX CRS 100 A 200



Português

Español

English

CRS - 100 a 200

Descrição e Aplicação

Descripción y Aplicaciones
Description and Applications

O CRS é um compacto e eficiente exaustor / insuflador de ar com uma unidade de economia de calor para apartamentos, casas, escritórios e outros pequenos ambientes. O recuperador evita as perdas de calor e salva custos de energia para o aquecimento do ar de alimentação durante o inverno, ou executa a operação inversa no verão, realizando o mesmo benefício. Devido ao seu tamanho compacto e funcionamento silencioso, o CRS pode ser instalado na laje, atrás do forro falso. O A tubulação pode ser construída para exaustão e insuflamento de ar com diversas captações.



El CRS es un extractor / soplador de aire compacto y eficiente de escape con una economía de calor para apartamentos, casas, oficinas, centros comerciales y otros ambientes pequeños. CRS ofrece una doble operación en la misma unidad, respirando aire limpio y fresco del aire exterior y exhaustos del medio ambiente. Ao extraer el aire desde el medio ambiente, la energía térmica se transfiere a la placa de solera y el papel se utiliza para calentar el flujo de aire desde el exterior. La estufa evita la pérdida de calor y ahorra costes de energía para calentar el aire de alimentación durante el invierno, o realiza la operación inversa en el verano, realizando el mismo beneficio. Debido a su tamaño compacto y funcionamiento silencioso, los CRS se pueden instalar en falso techo. El tubo se puede construir a agotar y suministro de aire con varias capturas.

The CRS is a compact and efficient exhaust fan / supply air unit with a energy recovery for apartments, houses, offices, commercial facilities and other small environments. CRS provides a double operation in the same unit, breathing clean, fresh air from outside and exhausted air from the environment. By extracting the air from the environment, thermal energy is transferred to the paper recuperator plates and is used to heat the flow air from the outside. Built-in recovery prevents heat losses and saves energy costs for warming up of supply air during winter time or performs the reverse operation in the summer, performing the same benefit. Due to its compact size and quiet operation, the CRS can be installed on the original ceiling or behind the false ceiling. The pipe can be built to exhaust and supply air with several captures.

Características e Certificações

Características y Certificaciones
Features and Certifications

Ultra compacto
Ultra compacto
Ultra compact

Filtros G3 / G4 / M5
Filtros G3 / G4 / M5
G3 / G4 / M5 Filters

Motor com mancais de rolamento
Motor con cojines de rolamiento
Ball Bearing motors

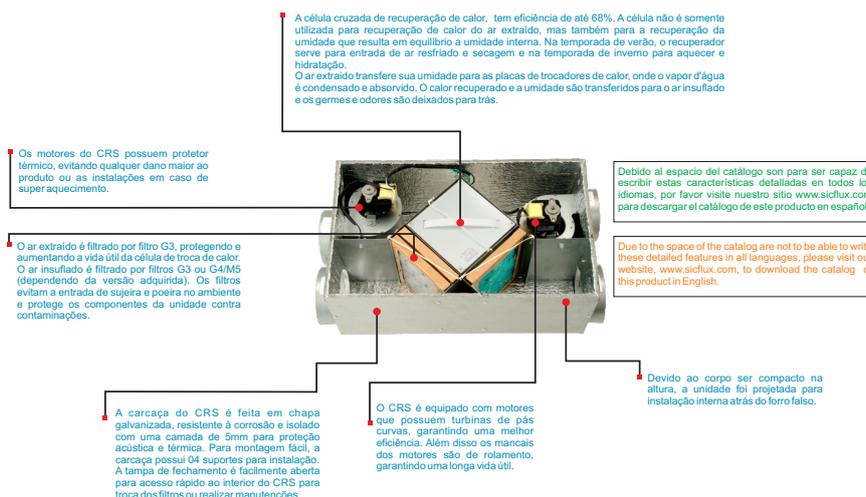
Protetor Térmico
Protector Térmico
Thermal Protector

1 ano de garantia
1 año garantía
1 year guarantee

IP X4 / Classe I
IP X4 / Classe I
IP X4 / Classe I

Unidade Recuperadora de Calor
Unidad de recuperación térmica
Heat Recovery Unit

Construído em chapa galvanizada
Construído en galvanizado
Build with galvanized sheet



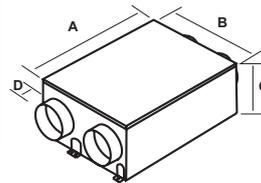
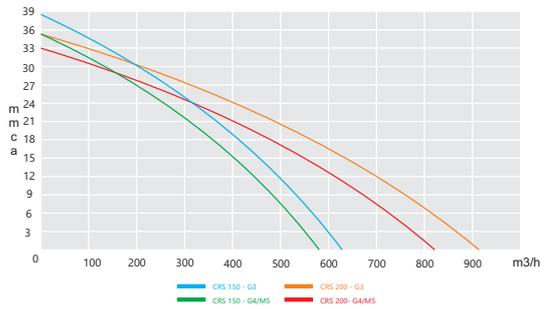
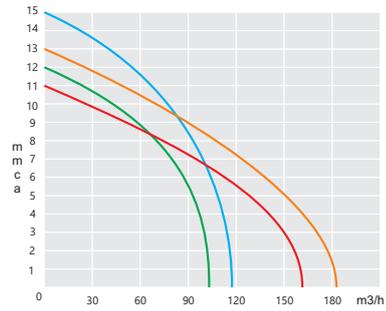


Dimensões e Características Técnicas

Dimensiones y Técnico

Dimensions and Specifications

		MODELO / Type								
		100 G3	100 G4/M5	125 G3	125 G4/M5	150 G3	150 G4/M5	200 G3	200 G4/M5	
Vazão Máxima Caudal Máximo Extract Capacity	m³/h	Exaustão Salida / exhaustión	118	118	182	182	630	630	910	910
		Insuflamento Insuflación / Insufflation	118	107	182	165	630	585	910	815
	CFM	Exaustão Salida / exhaustión	69	69	107	107	370	370	535	535
		Insuflamento Insuflación / Insufflation	69	62	107	97	370	344	535	480
Frequência Frecuencia, Hz		50 / 60								
Potência Motor Potencia Power, W		25								
Potência Absorvida por motor Potencia Power, W		225								
Potência Absorvida Total Potencia Power, W		450								
Nível Pressão Sonora Nivel Presión Sonora Sound pressure level, dBA		43	43	41	41	65	65	62	62	
Tensão Monofásica Tension Voltage, V		127 / 230								
Pressão Máxima Presión Máxima Max Air Pressure, mmca	Exaustão Salida / exhaustión	15	12	13	11	38	38	35	35	
	Insuflamento Insuflación / Insufflation	15	12	13	11	38	35	35	33	
Duto Conduto Duct Diameter, Pol		4	4	5	5	6	6	8	8	
Peso Peso Weight, Kg		5,5	5,7	5,7	5,7	49	49	49	49	
Material de Isolação Material de aislamiento Insulation Material		Poliétileno de baixa densidade expandido - células fechadas (PEBD) colmatada com película de alumínio. Poliétileno de baja densidad Ampliado - célula cerrada (PEBD) colmatada con papel de aluminio. Expanded low density polyethylene - closed cell (PEBD) colmatada with aluminum foil.								
Filtro de exaustão Filtro de salida Exhaust filter		G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	
Filtro de insuflamento Filtro Insuflación Insufflation Filter		G3	G4/M5	G3	G4/M5	G3	G4/M5	G3	G4/M5	
Eficiência de recuperação térmica Eficiencia de recuperación de calor Heat recovery efficiency		68 %								
Eficiência de recuperação de humidade Eficiencia de recuperación de humedad Moisture recovery efficiency		65 %								
Modo de recuperação e material Modo de recuperación y material Recovery mode and material		Cruzado com papel Enthalpy Cruzada con papel de Enthalpy / Cross Flow with Enthalpy paper								



MODELO Type	Dimensional / Dimensions (mm)			
	A	B	C	D
CRS 100	540	325	217	40
CRS 125	540	325	217	40
CRS 150	1127	852	243	40
CRS 200	1127	852	243	40

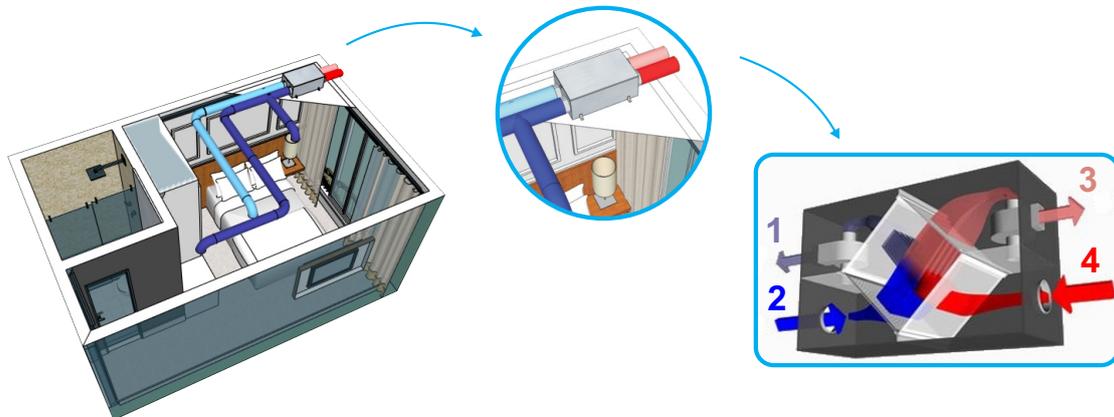
Exemplos de Aplicação

Ejemplos de Aplicación

Application Examples

Lógica de funcionamento

- O ar extraído do ambiente (frio ou quente) é deslocado pelo motor, passa pelo filtro e chega até a célula de recuperação térmica, onde transfere a energia térmica para os seu elementos e em seguida o ar sai ao exterior.
- O ar insuflado é movido a partir do exterior pelo motor, passa pelo filtro, onde é purificado e em seguida, passa pela célula recuperadora que absorve uma parte da energia térmica proveniente do interior e em seguida, o ar é insuflado para o ambiente.
- Desta forma, o ar de dentro com o ar de fora cruzam-se através da célula de recuperação térmica, assim o CRS reduz as perdas de energia térmica e reduz os custos operacionais para o aquecimento ou refrigeração do ar.



- 1** Ar para dentro da casa
Ar para dentro de casa
Air to home
- 2** Ar retirado do ambiente
Ar retirado del ambiente
Exhaust air from home
- 3** Ar retirado para fora
Ar retirado para fuera
Exhaust air to outside
- 4** Ar de Fora
Ar de fuera
Air from outside



CRS 355

Descrição e Aplicação

Descripción y Aplicaciones Description and Applications

O CRS é um compacto e eficiente exaustor / insuflador de ar com uma unidade de economia de calor para apartamentos, casas, escritórios e outros pequenos ambientes. O CRS propicia uma dupla operação num mesmo aparelho, insuflando ar limpo e fresco proveniente do exterior e exausta o ar do ambiente, a energia térmica é transferida para as placas de recuperador de papel e é utilizado para aquecer/resfriar o fluxo de ar proveniente do exterior. O recuperador evita as perdas de calor e salva custos de energia para o aquecimento do ar de alimentação durante o inverno, ou executa a operação inversa no verão, realizando o mesmo benefício. Devido ao seu tamanho compacto e funcionamento silencioso, o CRS pode ser instalado em locais com espaço reduzido. O A tubulação pode ser construída para exaustão e insuflamento de ar com diversas captações. Os novos modelos 355 M e 355 T, são projetados para trabalhar com tubulações de 355 mm de diâmetro e atendem altas vazões de ar.



El CRS es un extractor / soplador de aire compacto y eficiente con una unidad de ahorro de calor para apartamentos, casas, oficinas y otros entornos pequeños. El CRS ofrece un funcionamiento dual en el mismo dispositivo, suministrando aire limpio y fresco desde el exterior y expulsando el aire ambiental. Al extraer el aire ambiente, la energía térmica se transfiere a las placas de recuperación de papel y se utiliza para calentar / enfriar el flujo de aire que viene del exterior. La estufa evita pérdidas de calor y ahorra costos de energía para calentar el aire de suministro durante el invierno, o realiza la operación inversa en verano, obteniendo el mismo beneficio. Debido a su tamaño compacto y funcionamiento silencioso, el CRS se puede instalar en lugares con espacio limitado. O Se pueden construir tuberías para extracción e insuflación de aire con varias tomas. Los nuevos modelos 355 M y 355 T están diseñados para trabajar con tuberías de 355 mm de diámetro y cumplir con altos flujos de aire.

The CRS is a compact and efficient air exhaust/blower with a heat saving unit for apartments, houses, offices and other small environments. The CRS provides dual operation in the same device, supplying fresh, clean air from outside and exhausting the ambient air. By extracting ambient air, thermal energy is transferred to the paper reclaim plates and is used to heat/cool the air flow coming from outside. The stove avoids heat losses and saves energy costs for heating the supply air during winter, or performs the reverse operation in summer, realizing the same benefit. Due to its compact size and silent operation, the CRS can be installed in places with limited space. O Piping can be built for exhaust and insufflation of air with various intakes. The new 355 M and 355 T models are designed to work with 355 mm diameter pipes and meet high air flows.

Características e Certificações

Características y Certificaciones

Features and Certifications

Ultra compact
Ultra compacto
Ultra compact

Filtros G3 / G4 / M5
Filtros G3 / G4 / M5
G3 / G4 / M5 Filters

Motor com mancais de rolamento
Motor con cojines de rolamiento
Ball Bearing motors

Protetor Térmico
Protector Térmico
Thermal Protector

1 ano de garantia
1 año garantía
1 year guarantee

IP X4 / Classe I
IP X4 / Classe I
IP X4 / Classe I

Unidade Recuperadora de Calor
Unidad de recuperación térmica
Heat Recovery Unit

Construído em chapa galvanizada
Construído en galvanizado
Build with galvanized sheet

Dois modelos, 355 M e 355 T
Dos modelos, 355 M e 355 T
Two Models 355 M and 355 T

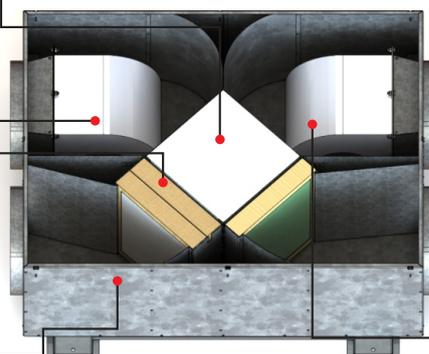
A célula cruzada de recuperação de calor, tem eficiência de até 68%. A célula não é somente utilizada para recuperação de calor do ar extraído, mas também para a recuperação da umidade que resulta em equilíbrio a umidade interna. Na temporada de verão, o recuperador serve para entrada de ar resfriado e secagem e na temporada de inverno para aquecer e hidratação. O ar extraído transfere sua umidade para as placas de trocadores de calor, onde o vapor d'água é condensado e absorvido. O calor recuperado e a umidade são transferidos para o ar insuflado e os germes e odores são deixados para trás.

Os motores do CRS possuem protetor térmico, evitando qualquer dano maior ao produto ou as instalações em caso de superaquecimento.

O ar extraído é filtrado por filtro G3, protegendo e aumentando a vida útil da célula de troca de calor. O ar insuflado é filtrado por filtros G3 ou G4/M5 (dependendo da versão adequada). Os filtros evitam a entrada de sujeira e poeira no ambiente e protege os componentes da unidade contra contaminações.

A carcaça do CRS é feita em chapa galvanizada, resistente à corrosão e isolado com uma camada de 5mm para proteção acústica e térmica. Para montagem fácil, a carcaça possui 04 suportes para instalação. A tampa de fechamento é facilmente aberta para acesso rápido ao interior do CRS para troca dos filtros ou realizar manutenções.

O CRS é equipado com motores que possuem turbinas de pás curvas, garantindo uma melhor eficiência. Além disso os mancais dos motores são de rolamento, garantindo uma longa vida útil.





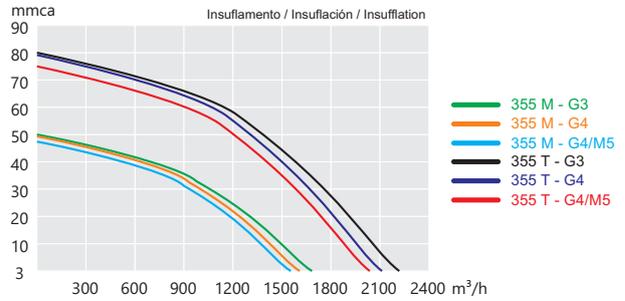
Dimensões e Características Técnicas

Dimensiones y Técnico

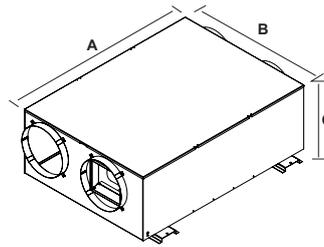
Dimensions and Specifications

		MODELO / Type		
		355 M G4/M5	355 T G4/M5	
Vazão Máxima Caudal Máximo Extrac. Capacity	m³/h	Exaustão Salida / exhaustión	1678	2239
		Insuflamento Insuflación / Insufflation	1517	2017
	CFM	Exaustão Salida / exhaustión	987	1317
		Insuflamento Insuflación / Insufflation	892	1187
Frequência Frecuencia, Hz	60			
Potência Motor Potencia, W	450			
Potência Absorvida total Potencia, W	1150			
Nível Pressão Sonora Sound pressure level, dBA	61			
Tipo de Tensão Voltage Type, V	Monofásica		Trifásica	
Tensão Voltage, V	230		380	
Pressão Máxima Presión Máxima Max Air Pressure, mmca	Exaustão Salida / exhaustión	50	80	
	Insuflamento Insuflación / Insufflation	48	75	
Duto Conducto Duct Diameter, Pol	14			
Peso Peso Weight, Kg	66		77	
Material de Isolação Material de aislamiento Insulation Material	Poliétileno de baixa densidade expandido - células fechadas (PEBD) colmatada com película de alumínio.			
Filtro de exaustão Filtro de salida Exhaust filter	G3		G3	
Filtro de insuflamento Filtro Insuflación Insufflation Filter	G4/M5		G4/M5	
Eficiência de recuperação térmica Eficiencia de recuperacion de calor Heat recovery efficiency	68 %			
Eficiência de recuperação de umidade Eficiencia de recuperacion de humedad Moisture recovery efficiency	65 %			
Modo de recuperação e material Modo de recuperacion y material Recovery mode and material	Cruzado com papel Enthalpy Cruzada con papel de Enthalpy Cross Flow with Enthalpy paper			

ATENÇÃO! Não utilizar inversor de frequência com estes modelos



MODELO Type	Dimensional / Dimensions (mm)		
	A	B	C
CRS 355 M	1384	1100	481
CRS 355 T	1284	1160	546



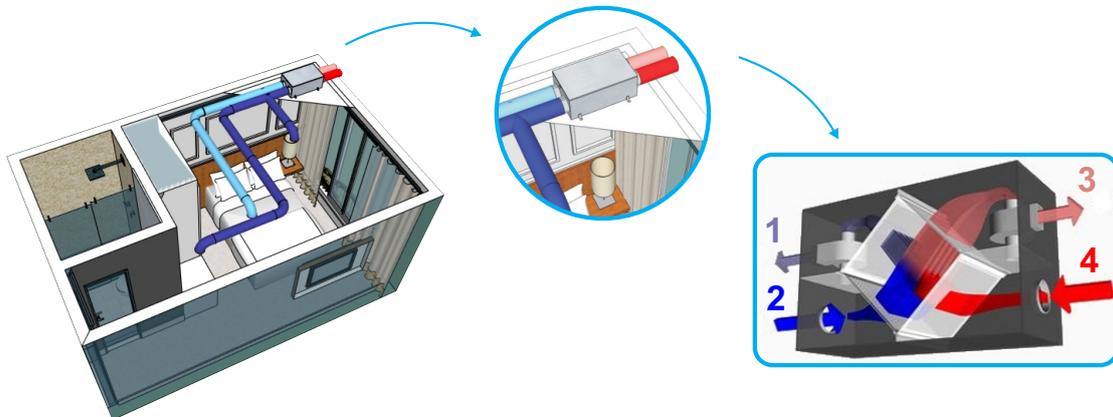
Exemplos de Aplicação

Ejemplos de Aplicación

Application Examples

Lógica de funcionamento

- O ar extraído do ambiente (frio ou quente) é deslocado pelo motor, passa pelo filtro e chega até a célula de recuperação térmica, onde transfere a energia térmica para os seu elementos e em seguida o ar sai ao exterior.
- O ar insuflado é movido a partir do exterior pelo motor, passa pelo filtro, onde é purificado e em seguida, passa pela célula recuperadora que absorve uma parte da energia térmica proveniente do interior e em seguida, o ar é insuflado para o ambiente.
- Desta forma, o ar de dentro com o ar de fora cruzam-se através da célula de recuperação térmica, assim o CRS reduz as perdas de energia térmica e reduz os custos operacionais para o aquecimento ou refrigeração do ar.



1

Ar para dentro da casa
Ar para dentro de casa
Air to home

2

Ar retirado do ambiente
Ar retirado del ambiente
Exhaust air from home

3

Ar retirado para fora
Ar retirado para fuera
Exhaust air to outside

4

Ar de Fora
Ar de fuera
Air from outside

APÊNDICE A - RESULTADOS SIMULAÇÃO DE CARGA TÉRMICA

11/12/2023, 21:20 Building 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IWEC Data WMO#=833780 2023-12-11 21:19:14 - Energy...

Program Version: EnergyPlus, Version 9.4.0-217a24fc09, YMD=2023.12.11 21:19

[Table of Contents](#)

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: **Building**

Environment: **1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IWEC Data WMO#=833780**

Simulation Timestamp: **2023-12-11 21:19:14**

Report: **Annual Building Utility Performance Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-12-11 21:19:14**

Values gathered over **8760.00** hours

Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	30548.75	102.01	102.01
Net Site Energy	30548.75	102.01	102.01
Total Source Energy	57367.18	191.57	191.57
Net Source Energy	57367.18	191.57	191.57

Site to Source Energy Conversion Factors

	Site=>Source Conversion Factor
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating	3.613
Steam	0.250
Gasoline	1.050
Diesel	1.050
Coal	1.050
Fuel Oil No 1	1.050
Fuel Oil No 2	1.050
Propane	1.050
Other Fuel 1	1.000
Other Fuel 2	1.000

Building Area

	Area [m2]
Total Building Area	299.46
Net Conditioned Building Area	299.46
Unconditioned Building Area	0.00

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18652.06	0.00	0.00
Interior Lighting	4842.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	7054.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	11896.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18652.06	0.00	0.00

End Uses By Subcategory

file:///C:/Users/russo/Desktop/carga termica.htm

1/17

	Subcategory	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18652.06	0.00	0.00
Interior Lighting	ELECTRIC EQUIPMENT#11#GeneralLights	4842.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	General	7054.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Normalized Metrics

Utility Use Per Conditioned Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Gasoline Intensity [kWh/m2]	Diesel Intensity [kWh/m2]	Coal Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m2]	Propane Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	16.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.29	0.00	0.00
Other	23.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	39.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.29	0.00	0.00

Utility Use Per Total Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Gasoline Intensity [kWh/m2]	Diesel Intensity [kWh/m2]	Coal Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m2]	Propane Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	16.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.29	0.00	0.00
Other	23.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	39.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.29	0.00	0.00

Electric Loads Satisfied

	Electricity [kWh]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	0.000	0.00
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	0.000	0.00
Net Decrease in On-Site Storage	0.000	0.00
Total On-Site Electric Sources	0.000	0.00
Electricity Coming From Utility	11896.690	100.00
Surplus Electricity Going To Utility	0.000	0.00
Net Electricity From Utility	11896.690	100.00
Total On-Site and Utility Electric Sources	11896.690	100.00
Total Electricity End Uses	11896.690	100.00

On-Site Thermal Sources

	Heat [kWh]	Percent Heat [%]
Water-Side Heat Recovery	0.00	
Air to Air Heat Recovery for Cooling	0.00	
Air to Air Heat Recovery for Heating	0.00	
High-Temperature Geothermal*	0.00	
Solar Water Thermal	0.00	
Solar Air Thermal	0.00	
Total On-Site Thermal Sources	0.00	

None										
------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004

	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]
11	278.25	1078.00	278.25
Facility	278.25	1078.00	278.25

Aggregated over the RunPeriods for Weather

Time Setpoint Not Met

	During Heating [hr]	During Cooling [hr]	During Occupied Heating [hr]	During Occupied Cooling [hr]
11	0.00	0.00	0.00	0.00
Facility	0.00	0.00	0.00	0.00

Aggregated over the RunPeriods for Weather

Report: Outdoor Air Summary

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-12-11 21:19:14**

Average Outdoor Air During Occupied Hours

	Average Number of Occupants	Nominal Number of Occupants	Zone Volume [m3]	Mechanical Ventilation [ach]	Infiltration [ach]	AFN Infiltration [ach]	Simple Ventilation [ach]
11	92.32	155.72	772.60	4.137	0.692	0.000	0.000

Values shown for a single zone without multipliers

Minimum Outdoor Air During Occupied Hours

	Average Number of Occupants	Nominal Number of Occupants	Zone Volume [m3]	Mechanical Ventilation [ach]	Infiltration [ach]	AFN Infiltration [ach]	Simple Ventilation [ach]
11	92.32	155.72	772.60	2.200	0.016	0.000	0.000

Values shown for a single zone without multipliers

Report: Object Count Summary

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-12-11 21:19:14**

Surfaces by Class

	Total	Outdoors
Wall	4	4
Floor	1	1
Roof	1	1
Internal Mass	0	0
Building Detached Shading	10	10
Fixed Detached Shading	0	0
Window	2	2
Door	4	4
Glass Door	0	0
Shading	0	0
Overhang	0	0
Fin	0	0
Tubular Daylighting Device Dome	0	0
Tubular Daylighting Device Diffuser	0	0

HVAC

	Count
HVAC Air Loops	0
Conditioned Zones	1
Unconditioned Zones	0
Supply Plenums	0
Return Plenums	0

Input Fields

	Count
IDF Objects	435
Defaulted Fields	92
Fields with Defaults	1187
Autosized Fields	3
Autosizable Fields	6
Autocalculated Fields	14
Autocalculatable Fields	33

Report: **Energy Meters**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-12-11 21:19:14**

Annual and Peak Values - Electricity

	Electricity Annual Value [kWh]	Electricity Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Electricity Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Electricity:Facility	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
Electricity:Building	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
Electricity:Zone:11	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
InteriorLights:Electricity	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
InteriorLights:Electricity:Zone:11	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
ELECTRIC EQUIPMENT #11#GeneralLights:InteriorLights:Electricity	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
InteriorEquipment:Electricity	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
InteriorEquipment:Electricity:Zone:11	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
General:InteriorEquipment:Electricity	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
ElectricityPurchased:Facility	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
ElectricityPurchased:Plant	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
Cogeneration:ElectricityPurchased	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
General:Cogeneration:ElectricityPurchased	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
ElectricitySurplusSold:Facility	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
ElectricitySurplusSold:Plant	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Cogeneration:ElectricitySurplusSold	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
General:Cogeneration:ElectricitySurplusSold	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
ElectricityNet:Facility	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
ElectricityNet:Plant	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
Cogeneration:ElectricityNet	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
General:Cogeneration:ElectricityNet	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15

Annual and Peak Values - Natural Gas

	Natural Gas Annual Value [kWh]	Natural Gas Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Natural Gas Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Cooling

	Cooling Annual Value [kWh]	Cooling Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Cooling Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
DistrictCooling:Facility	18652.08	0.00	01-JAN-00:15	41324.07	08-JAN-14:15
DistrictCooling:HVAC	18652.08	0.00	01-JAN-00:15	41324.07	08-JAN-14:15
Cooling:DistrictCooling	18652.08	0.00	01-JAN-00:15	41324.07	08-JAN-14:15
General:Cooling:DistrictCooling	18652.08	0.00	01-JAN-00:15	41324.07	08-JAN-14:15

Annual and Peak Values - Water

	Annual Value [m3]	Minimum Value [m3/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [m3/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Other by Weight/Mass

	Annual Value [kg]	Minimum Value [kg/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [kg/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Carbon Equivalent:Facility	0.00	0.000	01-JAN-00:15	0.000	01-JAN-00:15
CarbonEquivalentEmissions:Carbon Equivalent	0.00	0.000	01-JAN-00:15	0.000	01-JAN-00:15

Annual and Peak Values - Other Volumetric

	Annual Value [m3]	Minimum Value [m3/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [m3/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Other Liquid/Gas

	Annual Value [L]	Minimum Value [L]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [L]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Other

	Annual Value [kWh]	Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}

11/12/2023, 21:20

Building 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IWEC Data WMO#=833780 2023-12-11 21:19:14 - Energy...

EnergyTransfer:Facility	13304.79	0.00	01-JAN-00:15	20834.57	25-SEP-15:30
EnergyTransfer:Building	13304.79	0.00	01-JAN-00:15	20834.57	25-SEP-15:30
EnergyTransfer:Zone:11	13304.79	0.00	01-JAN-00:15	20834.57	25-SEP-15:30
Heating:EnergyTransfer	7.38	0.00	01-JAN-00:15	629.20	10-OCT-08:45
Heating:EnergyTransfer:Zone:11	7.38	0.00	01-JAN-00:15	629.20	10-OCT-08:45
General:Heating:EnergyTransfer	7.38	0.00	01-JAN-00:15	629.20	10-OCT-08:45
Cooling:EnergyTransfer	13297.41	0.00	01-JAN-00:15	20834.57	25-SEP-15:30
Cooling:EnergyTransfer:Zone:11	13297.41	0.00	01-JAN-00:15	20834.57	25-SEP-15:30
General:Cooling:EnergyTransfer	13297.41	0.00	01-JAN-00:15	20834.57	25-SEP-15:30
DistrictHeating:Facility	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
DistrictHeating:HVAC	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Heating:DistrictHeating	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
General:Heating:DistrictHeating	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15

Report: **Sensible Heat Gain Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-12-11 21:19:14**

Annual Building Sensible Heat Gain Components

	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [kWh]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [kWh]	HVAC Input Heated Surface Heating [kWh]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [kWh]	People Sensible Heat Addition [kWh]	Lights Sensible Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Addition [kWh]	Window Heat Addition [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Addition [kWh]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Removal [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Interzone Trans Ht Remo [kW]
11	7.379	-13295.95	0.000	0.000	0.000	0.000	7882.199	4842.243	7054.456	918.727	0.000	2933.980	0.122	0.000	-189.43	0.00
Total Facility	7.379	-13295.95	0.000	0.000	0.000	0.000	7882.199	4842.243	7054.456	918.727	0.000	2933.980	0.122	0.000	-189.43	0.00

Peak Cooling Sensible Heat Gain Components

	Time of Peak {TIMESTAMP}	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [W]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [W]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [W]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [W]	HVAC Input Heated Surface Heating [W]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [W]	People Sensible Heat Addition [W]	Lights Sensible Heat Addition [W]	Equipment Sensible Heat Addition [W]	Window Heat Addition [W]	Interzone Air Transfer Heat Addition [W]	Infiltration Heat Addition [W]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [W]	Equipment Sensible Heat Removal [W]
11	25-SEP-15:30	0.00	-20835.85	0.00	0.00	0.00	0.00	12301.01	4491.87	9226.31	342.99	0.00	1709.54	0.00	0.00
Total Facility	25-SEP-15:30	0.00	-20835.85	0.00	0.00	0.00	0.00	12301.01	4491.87	9226.31	342.99	0.00	1709.54	0.00	0.00

Peak Heating Sensible Heat Gain Components

	Time of Peak {TIMESTAMP}	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [W]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [W]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [W]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [W]	HVAC Input Heated Surface Heating [W]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [W]	People Sensible Heat Addition [W]	Lights Sensible Heat Addition [W]	Equipment Sensible Heat Addition [W]	Window Heat Addition [W]	Interzone Air Transfer Heat Addition [W]	Infiltration Heat Addition [W]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [W]	Equipment Sensible Heat Removal [W]
11	10-OCT-08:32	2500.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2762.59	4491.87	3955.84	287.83	0.00	752.53	0.00	0.00
Total Facility	10-OCT-08:32	2500.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2762.59	4491.87	3955.84	287.83	0.00	752.53	0.00	0.00

Report: **Standard 62.1 Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-12-11 21:19:14**

System Ventilation Requirements for Cooling

	Sum of Zone Primary Air Flow - Vpz-sum [m3/s]	System Population - Ps	Sum of Zone Population - Pz-sum	Occupant Diversity - D	Uncorrected Outdoor Air Intake Airflow - Vou [m3/s]	System Primary Airflow - Vps [m3/s]	Average Outdoor Air Fraction - Xs	System Ventilation Efficiency - Ev	Outdoor Air Intake Flow - Vot [m3/s]	Percent Outdoor Air - %OA	Environment Name of Peak System Population - Ps	Date and Time of Last Peak System Population - Ps
None												

System Ventilation Requirements for Heating

	Sum of Zone Primary Air Flow - Vpz-sum [m3/s]	System Population - Ps	Sum of Zone Population - Pz-sum	Occupant Diversity - D	Uncorrected Outdoor Air Intake Airflow - Vou [m3/s]	System Primary Airflow - Vps [m3/s]	Average Outdoor Air Fraction - Xs	System Ventilation Efficiency - Ev	Outdoor Air Intake Flow - Vot [m3/s]	Percent Outdoor Air - %OA	Environment Name of Peak System Population - Ps	Date and Time of Last Peak System Population - Ps
None												

Zone Ventilation Parameters

file:///C:/Users/russo/Desktop/carga termica.htm

11/17

	AirLoop Name	People Outdoor Air Rate - Rp [m3/s-person]	Zone Population - Pz	Area Outdoor Air Rate - Ra [m3/s-m2]	Zone Floor Area - Az [m2]	Breathing Zone Outdoor Airflow - Vbz [m3/s]	Cooling Zone Air Distribution Effectiveness - Ez-clg	Cooling Zone Outdoor Airflow - Voz-clg [m3/s]	Heating Zone Air Distribution Effectiveness - Ez-htg	Heating Zone Outdoor Airflow - Voz-htg [m3/s]
None										

System Ventilation Parameters

	People Outdoor Air Rate - Rp [m3/s-person]	Sum of Zone Population - Pz-sum	Area Outdoor Air Rate - Ra [m3/s-m2]	Sum of Zone Floor Area - Az-sum [m2]	Breathing Zone Outdoor Airflow - Vbz [m3/s]	Cooling Zone Outdoor Airflow - Voz-clg [m3/s]	Heating Zone Outdoor Airflow - Voz-htg [m3/s]
None							

Zone Ventilation Calculations for Cooling Design

	AirLoop Name	Box Type	Zone Primary Airflow - Vpz [m3/s]	Zone Discharge Airflow - Vdz [m3/s]	Minimum Zone Primary Airflow - Vpz-min [m3/s]	Zone Outdoor Airflow Cooling - Voz-clg [m3/s]	Primary Outdoor Air Fraction - Zpz	Primary Air Fraction - Ep	Secondary Recirculation Fraction- Er	Supply Air Fraction- Fa	Mixed Air Fraction - Fb	Outdoor Air Fraction - Fc	Zone Ventilation Efficiency - Evz
None													

System Ventilation Calculations for Cooling Design

	Sum of Zone Primary Airflow - Vpz-sum [m3/s]	System Primary Airflow - Vps [m3/s]	Sum of Zone Discharge Airflow - Vdz-sum [m3/s]	Sum of Min Zone Primary Airflow - Vpz-min [m3/s]	Zone Outdoor Airflow Cooling - Voz-clg [m3/s]	Zone Ventilation Efficiency - Evz-min
None						

Zone Ventilation Calculations for Heating Design

	AirLoop Name	Box Type	Zone Primary Airflow - Vpz [m3/s]	Zone Discharge Airflow - Vdz [m3/s]	Minimum Zone Primary Airflow - Vpz-min [m3/s]	Zone Outdoor Airflow Heating - Voz-htg [m3/s]	Primary Outdoor Air Fraction - Zpz	Primary Air Fraction - Ep	Secondary Recirculation Fraction- Er	Supply Air Fraction- Fa	Mixed Air Fraction - Fb	Outdoor Air Fraction - Fc	Zone Ventilation Efficiency - Evz
None													

System Ventilation Calculations for Heating Design

	Sum of Zone Primary Airflow - Vpz-sum [m3/s]	System Primary Airflow - Vps [m3/s]	Sum of Zone Discharge Airflow - Vdz-sum [m3/s]	Sum of Min Zone Primary Airflow - Vpz-min [m3/s]	Zone Outdoor Airflow Heating - Voz-htg [m3/s]	Zone Ventilation Efficiency - Evz-min
None						

Report: ZoneCoolingSummaryMonthly

[Table of Contents](#)

For: Environment

Timestamp: 2023-12-11 21:19:14

Custom Monthly Report

	ZONE AIR SYSTEM SENSIBLE COOLING ENERGY [kWh]	ZONE AIR SYSTEM SENSIBLE COOLING RATE {Maximum} [W]	ZONE AIR SYSTEM SENSIBLE COOLING RATE {TIMESTAMP}	SITE OUTDOOR AIR DRYBULB TEMPERATURE {AT MAX/MIN} [C]	SITE OUTDOOR AIR WETBULB TEMPERATURE {AT MAX/MIN} [C]	ZONE TOTAL INTERNAL LATENT GAIN ENERGY [kWh]	ZONE TOTAL INTERNAL LATENT GAIN RATE {Maximum} [W]	ZONE TOTAL INTERNAL LATENT GAIN RATE {TIMESTAMP}	SITE OUTDOOR AIR DRYBULB TEMPERATURE {AT MAX/MIN} [C]	SITE OUTDOOR AIR WETBULB TEMPERATURE {AT MAX/MIN} [C]
January	1201.59	20029.37	31-JAN-14:30	30.50	19.60	396.43	6863.34	08-JAN-14:30	22.20	19.71
February	1064.20	20228.68	21-FEB-15:30	31.00	20.43	339.97	6853.25	21-FEB-15:15	31.00	20.43
March	1051.23	20050.89	05-MAR-15:30	30.00	19.24	339.95	6853.21	05-MAR-15:15	29.50	19.39
April	1133.53	19888.16	09-APR-15:30	29.00	19.40	368.21	6853.13	09-APR-15:15	29.00	19.14
May	1210.76	19644.75	02-MAY-15:30	28.70	18.14	396.24	6852.32	29-MAY-15:30	25.25	17.18
June	968.29	19380.95	05-JUN-15:30	28.70	18.13	338.44	6852.32	26-JUN-15:30	23.20	14.94
July	1152.18	19203.12	11-JUL-15:30	28.00	14.12	395.24	6852.32	24-JUL-15:30	25.80	14.18
August	1146.92	20545.83	28-AUG-15:30	32.00	18.13	368.05	6854.21	27-AUG-15:15	32.00	16.70
September	1065.15	20834.57	25-SEP-15:30	33.20	18.40	339.99	6853.07	17-SEP-15:15	31.30	16.10
October	1317.19	19954.28	08-OCT-15:30	30.00	21.20	425.04	6854.19	15-OCT-15:15	27.00	20.11
November	1048.29	20133.72	28-NOV-14:30	31.30	18.96	339.85	6852.32	12-NOV-14:30	23.60	20.40
December	938.08	19530.65	19-DEC-14:30	30.00	21.20	311.30	6852.32	10-DEC-14:30	23.00	19.49
Annual Sum or Average	13297.40					4358.71				
Minimum of Months	938.08	19203.12		28.00	14.12	311.30	6852.32		22.20	14.18
Maximum of Months	1317.19	20834.57		33.20	21.20	425.04	6863.34		32.00	20.43

Report: ZoneElectricSummaryMonthly

[Table of Contents](#)

APÊNDICE B - RESULTADOS SIMULAÇÃO DO NÍVEL 2 DE VENTILAÇÃO



(a) Arquivo de carga térmica. Para acessar virtualmente clique [AQUI](#).



(b) Arquivo do cenário 1 com nível 1 de ventilação. Para acessar virtualmente clique [AQUI](#).



(c) Arquivo do cenário 1 com nível 2 de ventilação. Para acessar virtualmente clique [AQUI](#).



(d) Arquivo do cenário 1 com nível 3 de ventilação. Para acessar virtualmente clique [AQUI](#).

Figura 9.1: QR Codes dos *links* dos resultados das simulações realizadas no DesignBuilder. Para visualizá-los, é necessário instalar o DesignBuilder Results Viewer.



(a) Arquivo do cenário 2, com ERV. Para acessar virtualmente clique [AQUI](#).



(b) Arquivo do cenário 3, com VCD. Para acessar virtualmente clique [AQUI](#).



(c) Arquivo do cenário 3, com VCD e ERV Para acessar virtualmente clique [AQUI](#).

Figura 9.2: QRCode dos *links* dos resultados das simulações realizadas no DesingBuilder. Para visualizá-los, é necessário instalar o DesignBuilder Results Viewer.

APÊNDICE C - RESULTADOS SIMULAÇÃO DO NÍVEL 3 DE VENTILAÇÃO

11/12/2023, 19:20 Building 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IVEC Data WMO#=833780 2023-11-30 16:02:58 - Energy...

Program Version: EnergyPlus, Version 9.4.0-217a24fc09, YMD=2023.11.30 16:02

[Table of Contents](#)

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: Building

Environment: 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IVEC Data WMO#=833780

Simulation Timestamp: 2023-11-30 16:02:58

Report: Annual Building Utility Performance Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2023-11-30 16:02:58

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	23137.51	77.26	77.26
Net Site Energy	23137.51	77.26	77.26
Total Source Energy	73276.49	244.70	244.70
Net Source Energy	73276.49	244.70	244.70

Site to Source Energy Conversion Factors

	Site=>Source Conversion Factor
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating	3.613
Steam	0.250
Gasoline	1.050
Diesel	1.050
Coal	1.050
Fuel Oil No 1	1.050
Fuel Oil No 2	1.050
Propane	1.050
Other Fuel 1	1.000
Other Fuel 2	1.000

Building Area

	Area [m2]
Total Building Area	299.46
Net Conditioned Building Area	299.46
Unconditioned Building Area	0.00

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	5543.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	4842.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	7054.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	4925.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	121.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	651.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89.72
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	23137.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89.72

End Uses By Subcategory

	Subcategory	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	General	5543.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	ELECTRIC EQUIPMENT#11#GeneralLights	4842.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	General	7054.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	General	4925.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	General	121.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	General	651.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89.72
Humidification	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Normalized Metrics

Utility Use Per Conditioned Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Gasoline Intensity [kWh/m2]	Diesel Intensity [kWh/m2]	Coal Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m2]	Propane Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	16.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	37.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
Other	23.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	77.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30

Utility Use Per Total Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Gasoline Intensity [kWh/m2]	Diesel Intensity [kWh/m2]	Coal Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m2]	Propane Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	16.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	37.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
Other	23.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	77.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30

Electric Loads Satisfied

	Electricity [kWh]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	0.000	0.00
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	0.000	0.00
Net Decrease in On-Site Storage	0.000	0.00
Total On-Site Electric Sources	0.000	0.00
Electricity Coming From Utility	23137.507	100.00
Surplus Electricity Going To Utility	0.000	0.00
Net Electricity From Utility	23137.507	100.00
Total On-Site and Utility Electric Sources	23137.507	100.00
Total Electricity End Uses	23137.507	100.00

On-Site Thermal Sources

	Heat [kWh]	Percent Heat [%]
Water-Side Heat Recovery	0.00	
Air to Air Heat Recovery for Cooling	0.00	
Air to Air Heat Recovery for Heating	0.00	
High-Temperature Geothermal*	0.00	
Solar Water Thermal	0.00	
Solar Air Thermal	0.00	
Total On-Site Thermal Sources	0.00	

Pumps

	Type	Control	Head [pa]	Water Flow [m3/s]	Electricity Rate [W]	Power Per Water Flow Rate [W-s/m3]	Motor Efficiency [W/W]	End Use Subcategory
CHW LOOP SUPPLY PUMP	Pump:VariableSpeed	Intermittent	20000.00	0.003163	90.11	28490.03	0.90	General
CONDENSER LOOP SUPPLY PUMP	Pump:VariableSpeed	Intermittent	20000.00	0.002753	78.43	28490.03	0.90	General

Service Water Heating

	Type	Storage Volume [m3]	Input [W]	Thermal Efficiency [W/W]	Recovery Efficiency [W/W]	Energy Factor
None						

Report: HVAC Sizing Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2023-11-30 16:02:58

Zone Sensible Cooling

	Calculated Design Load [W]	User Design Load [W]	User Design Load per Area [W/m2]	Calculated Design Air Flow [m3/s]	User Design Air Flow [m3/s]	Design Day Name	Date/Time Of Peak {TIMESTAMP}	Thermostat Setpoint Temperature at Peak Load [C]	Indoor Temperature at Peak Load [C]	Indoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Outdoor Temperature at Peak Load [C]	Outdoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Minimum Outdoor Air Flow Rate [m3/s]
11	20269.17	23309.54	77.84	2.341	2.693	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00	22.00	21.99	0.00990	33.50	0.00797	0.4

The Design Load is the zone sensible load only. It does not include any system effects or ventilation loads.

Zone Sensible Heating

	Calculated Design Load [W]	User Design Load [W]	User Design Load per Area [W/m2]	Calculated Design Air Flow [m3/s]	User Design Air Flow [m3/s]	Design Day Name	Date/Time Of Peak {TIMESTAMP}	Thermostat Setpoint Temperature at Peak Load [C]	Indoor Temperature at Peak Load [C]	Indoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Outdoor Temperature at Peak Load [C]	Outdoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Minimum Outdoor Air Flow Rate [m3/s]
11	0.00	0.00	0.00	0.000	0.479	WINTER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12)		0.00	-50.00	0.00400	10.00	0.00868	0.47

The Design Load is the zone sensible load only. It does not include any system effects or ventilation loads.

System Design Air Flow Rates

	Calculated cooling [m3/s]	User cooling [m3/s]	Calculated heating [m3/s]	User heating [m3/s]	Adjusted cooling [m3/s]	Adjusted heating [m3/s]	Adjusted main [m3/s]	Calculated Heating Air Flow Ratio []	User Heating Air Flow Ratio []
AIR LOOP	2.69	2.69	0.48	0.48	2.6927	2.6927	2.6927	1.0000	0.3000

Plant Loop Coincident Design Fluid Flow Rate Adjustments

	Previous Design Volume Flow Rate [m3/s]	Algorithm Volume Flow Rate [m3/s]	Coincident Design Volume Flow Rate [m3/s]	Coincident Size Adjusted	Peak Sizing Period Name	Peak Day into Period {TIMESTAMP}[day]	Peak Hour Of Day {TIMESTAMP}[hr]	Peak Step Start Minute {TIMESTAMP}[min]
None								

Coil Sizing Summary

	Coil Type	HVAC Type	HVAC Name	Coil Final Gross Total Capacity [W]	Coil Final Gross Sensible Capacity [W]	Coil Final Reference Air Volume Flow Rate [m3/s]	Coil Final Reference Plant Fluid Volume Flow Rate [m3/s]	Coil U-value Times Area Value [W/K]	Design Day Name at Sensible Ideal Loads Peak	Date/Time at Sensible Ideal Loads Peak	Design Day Name at Air Flow Ideal Loads Peak	Date/Time at Air Flow Ideal Loads Peak	Coil Total Capacity at Ideal Loads Peak [W]	Coil Sensible Capacity at Ideal Loads Peak [W]	Coil Air Volume Flow Rate at Ideal Loads Peak [m3/s]
AIR LOOP AHU COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	AirLoopHVAC	AIR LOOP	48680.123	-999.000	2.692655	0.00316277	-999.000	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00	48680.12	38778.51	2.692655

Report: System Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2023-11-30 16:02:58

Economizer

	High Limit Shutoff Control	Minimum Outdoor Air [m3/s]	Maximum Outdoor Air [m3/s]	Return Air Temp Limit	Return Air Enthalpy Limit	Outdoor Air Temperature Limit [C]	Outdoor Air Enthalpy Limit [C]
None							

Demand Controlled Ventilation using Controller:MechanicalVentilation

	Controller:MechanicalVentilation Name	Outdoor Air Per Person [m3/s-person]	Outdoor Air Per Area [m3/s-m2]	Outdoor Air Per Zone [m3/s]	Outdoor Air ACH [ach]	Outdoor Air Method	Outdoor Air Schedule Name	Air Distribution Effectiveness in Cooling Mode	Air Distribution Effectiveness in Heating Mode	Air Distribution Effectiveness Schedule Name
None										

Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004

	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]
11	384.25	1078.00	384.25
Facility	384.25	1078.00	384.25

Aggregated over the RunPeriods for Weather

Time Setpoint Not Met

	During Heating [hr]	During Cooling [hr]	During Occupied Heating [hr]	During Occupied Cooling [hr]
11	0.00	0.00	0.00	0.00
Facility	0.00	0.00	0.00	0.00

Aggregated over the RunPeriods for Weather

Report: Outdoor Air Summary

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-11-30 16:02:58**

Average Outdoor Air During Occupied Hours

	Average Number of Occupants	Nominal Number of Occupants	Zone Volume [m3]	Mechanical Ventilation [ach]	Infiltration [ach]	AFN Infiltration [ach]	Simple Ventilation [ach]
11	92.32	155.72	772.60	3.469	0.683	0.000	0.000

Values shown for a single zone without multipliers

Minimum Outdoor Air During Occupied Hours

	Average Number of Occupants	Nominal Number of Occupants	Zone Volume [m3]	Mechanical Ventilation [ach]	Infiltration [ach]	AFN Infiltration [ach]	Simple Ventilation [ach]
11	92.32	155.72	772.60	3.382	0.018	0.000	0.000

Values shown for a single zone without multipliers

Report: Object Count Summary

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-11-30 16:02:58**

Surfaces by Class

	Total	Outdoors
Wall	4	4
Floor	1	1
Roof	1	1
Internal Mass	0	0
Building Detached Shading	10	10
Fixed Detached Shading	0	0
Window	2	2
Door	4	4
Glass Door	0	0
Shading	0	0
Overhang	0	0
Fin	0	0
Tubular Daylighting Device Dome	0	0
Tubular Daylighting Device Diffuser	0	0

HVAC

	Count
HVAC Air Loops	1
Conditioned Zones	1
Unconditioned Zones	0
Supply Plenums	0
Return Plenums	0

Input Fields

	Count
IDF Objects	1081
Defaulted Fields	122
Fields with Defaults	2383
Autosized Fields	31
Autosizable Fields	39
Autocalculated Fields	19
Autocalculatable Fields	38

Report: **Energy Meters**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-11-30 16:02:58**

Annual and Peak Values - Electricity

	Electricity Annual Value [kWh]	Electricity Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Electricity Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Electricity:Facility	23137.53	0.00	01-JAN-00:15	27161.35	14-NOV-14:30
Electricity:Building	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
Electricity:Zone:11	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
InteriorLights:Electricity	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
InteriorLights:Electricity:Zone:11	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
ELECTRIC EQUIPMENT#11#GeneralLights:InteriorLights:Electricity	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
InteriorEquipment:Electricity	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
InteriorEquipment:Electricity:Zone:11	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
General:InteriorEquipment:Electricity	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
ElectricityPurchased:Facility	23137.53	0.00	01-JAN-00:15	27161.35	14-NOV-14:30
ElectricityPurchased:Plant	23137.53	0.00	01-JAN-00:15	27161.35	14-NOV-14:30
Cogeneration:ElectricityPurchased	23137.53	0.00	01-JAN-00:15	27161.35	14-NOV-14:30
General:Cogeneration:ElectricityPurchased	23137.53	0.00	01-JAN-00:15	27161.35	14-NOV-14:30
ElectricitySurplusSold:Facility	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
ElectricitySurplusSold:Plant	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Cogeneration:ElectricitySurplusSold	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
General:Cogeneration:ElectricitySurplusSold	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
ElectricityNet:Facility	23137.53	0.00	01-JAN-00:15	27161.35	14-NOV-14:30
ElectricityNet:Plant	23137.53	0.00	01-JAN-00:15	27161.35	14-NOV-14:30
Cogeneration:ElectricityNet	23137.53	0.00	01-JAN-00:15	27161.35	14-NOV-14:30
General:Cogeneration:ElectricityNet	23137.53	0.00	01-JAN-00:15	27161.35	14-NOV-14:30
Electricity:HVAC	4925.43	0.00	01-JAN-00:15	4569.05	02-JAN-07:45
Fans:Electricity	4925.43	0.00	01-JAN-00:15	4569.05	02-JAN-07:45
General:Fans:Electricity	4925.43	0.00	01-JAN-00:15	4569.05	02-JAN-07:45
Electricity:Plant	6315.39	0.00	01-JAN-00:15	9335.39	25-APR-10:00
Cooling:Electricity	5543.03	0.00	01-JAN-00:15	8600.12	25-APR-10:00
General:Cooling:Electricity	5543.03	0.00	01-JAN-00:15	8600.12	25-APR-10:00
HeatRejection:Electricity	651.18	0.00	01-JAN-00:15	604.06	28-AUG-14:15
General:HeatRejection:Electricity	651.18	0.00	01-JAN-00:15	604.06	28-AUG-14:15
Pumps:Electricity	121.18	0.00	01-JAN-00:15	163.84	27-MAR-08:45
General:Pumps:Electricity	121.18	0.00	01-JAN-00:15	163.84	27-MAR-08:45

Annual and Peak Values - Natural Gas

	Natural Gas Annual Value [kWh]	Natural Gas Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Natural Gas Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Cooling

	Cooling Annual Value [kWh]	Cooling Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Cooling Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
PlantLoopCoolingDemand:Facility	34110.84	0.00	01-JAN-00:15	48682.83	12-MAR-08:45
PlantLoopCoolingDemand:HVAC	34110.84	0.00	01-JAN-00:15	48682.83	12-MAR-08:45
CoolingCoils:PlantLoopCoolingDemand	34110.84	0.00	01-JAN-00:15	48682.83	12-MAR-08:45

Annual and Peak Values - Water

	Annual Value [m3]	Minimum Value [m3/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [m3/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Water:Facility	89.72	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00
Water:Plant	89.72	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00
HeatRejection:Water	89.72	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00

General:HeatRejection:Water	89.72	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00
MainsWater:Facility	89.72	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00
MainsWater:Plant	89.72	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00
HeatRejection:MainsWater	89.72	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00
General:HeatRejection:MainsWater	89.72	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00

Annual and Peak Values - Other by Weight/Mass

	Annual Value [kg]	Minimum Value [kg/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [kg/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Carbon Equivalent:Facility	0.00	0.000	01-JAN-00:15	0.000	01-JAN-00:15
CarbonEquivalentEmissions:Carbon Equivalent	0.00	0.000	01-JAN-00:15	0.000	01-JAN-00:15

Annual and Peak Values - Other Volumetric

	Annual Value [m3]	Minimum Value [m3/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [m3/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Other Liquid/Gas

	Annual Value [L]	Minimum Value [L]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [L]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Other

	Annual Value [kWh]	Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
EnergyTransfer:Facility	125037.80	0.00	01-JAN-00:15	170579.65	25-APR-10:00
EnergyTransfer:Building	16751.39	0.00	01-JAN-00:15	21065.52	25-SEP-15:30
EnergyTransfer:Zone:11	16751.39	0.00	01-JAN-00:15	21065.52	25-SEP-15:30
Heating:EnergyTransfer	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Heating:EnergyTransfer:Zone:11	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
General:Heating:EnergyTransfer	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Cooling:EnergyTransfer	16751.39	0.00	01-JAN-00:15	21065.52	25-SEP-15:30
Cooling:EnergyTransfer:Zone:11	16751.39	0.00	01-JAN-00:15	21065.52	25-SEP-15:30
General:Cooling:EnergyTransfer	16751.39	0.00	01-JAN-00:15	21065.52	25-SEP-15:30
EnergyTransfer:HVAC	34110.84	0.00	01-JAN-00:15	48682.83	12-MAR-08:45
CoolingCoils:EnergyTransfer	34110.84	0.00	01-JAN-00:15	48682.83	12-MAR-08:45
EnergyTransfer:Plant	74175.57	0.00	01-JAN-00:15	105960.37	25-APR-10:00
Chillers:EnergyTransfer	34316.27	0.00	01-JAN-00:15	48680.12	12-MAR-08:45
HeatRejection:EnergyTransfer	39859.30	0.00	01-JAN-00:15	57280.24	25-APR-10:00
General:HeatRejection:EnergyTransfer	39859.30	0.00	01-JAN-00:15	57280.24	25-APR-10:00

Report: Sensible Heat Gain Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2023-11-30 16:02:58

Annual Building Sensible Heat Gain Components

	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [kWh]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [kWh]	HVAC Input Heated Surface Heating [kWh]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [kWh]	People Sensible Heat Addition [kWh]	Lights Sensible Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Addition [kWh]	Window Heat Addition [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Addition [kWh]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Removal [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Removal [kWh]
11	0.000	0.000	0.000	-16750.48	0.000	0.000	8782.864	4842.243	7054.456	951.748	0.000	3449.489	0.122	0.000	-184.23	0.0
Total Facility	0.000	0.000	0.000	-16750.48	0.000	0.000	8782.864	4842.243	7054.456	951.748	0.000	3449.489	0.122	0.000	-184.23	0.0

Peak Cooling Sensible Heat Gain Components

	Time of Peak {TIMESTAMP}	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [W]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [W]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [W]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [W]	HVAC Input Heated Surface Heating [W]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [W]	People Sensible Heat Addition [W]	Lights Sensible Heat Addition [W]	Equipment Sensible Heat Addition [W]	Window Heat Addition [W]	Interzone Air Transfer Heat Addition [W]	Infiltration Heat Addition [W]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [W]	Equipment Sensible Heat Removal [W]	Interzone Air Transfer Heat Removal [W]
11	25-SEP-14:02	0.00	0.00	0.00	-21898.13	0.00	0.00	2403.77	4491.87	3955.84	429.92	0.00	1771.61	8845.11	0.00	0.00
Total Facility	25-SEP-14:02	0.00	0.00	0.00	-21898.13	0.00	0.00	2403.77	4491.87	3955.84	429.92	0.00	1771.61	8845.11	0.00	0.00

Peak Heating Sensible Heat Gain Components

	Time of Peak {TIMESTAMP}	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [W]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [W]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [W]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [W]	HVAC Input Heated Surface Heating [W]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [W]	People Sensible Heat Addition [W]	Lights Sensible Heat Addition [W]	Equipment Sensible Heat Addition [W]	Window Heat Addition [W]	Interzone Air Transfer Heat Addition [W]	Infiltration Heat Addition [W]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [W]	Equipment Sensible Heat Removal [W]	Interzone Air Transfer Heat Removal [W]
11	25-SEP-14:02	0.00	0.00	0.00	-21898.13	0.00	0.00	2403.77	4491.87	3955.84	429.92	0.00	1771.61	8845.11	0.00	0.00
Total Facility	25-SEP-14:02	0.00	0.00	0.00	-21898.13	0.00	0.00	2403.77	4491.87	3955.84	429.92	0.00	1771.61	8845.11	0.00	0.00

APÊNDICE D - RESULTADOS SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2

11/12/2023, 19:22 Building 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IVEC Data WMO#=833780 2023-12-11 18:47:36 - Energy...

Program Version: EnergyPlus, Version 9.4.0-217a24fc09, YMD=2023.12.11 18:47

[Table of Contents](#)

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: Building

Environment: 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IVEC Data WMO#=833780

Simulation Timestamp: 2023-12-11 18:47:36

Report: Annual Building Utility Performance Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2023-12-11 18:47:36

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	22832.98	76.25	76.25
Net Site Energy	22832.98	76.25	76.25
Total Source Energy	72312.05	241.48	241.48
Net Source Energy	72312.05	241.48	241.48

Site to Source Energy Conversion Factors

	Site=>Source Conversion Factor
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating	3.613
Steam	0.250
Gasoline	1.050
Diesel	1.050
Coal	1.050
Fuel Oil No 1	1.050
Fuel Oil No 2	1.050
Propane	1.050
Other Fuel 1	1.000
Other Fuel 2	1.000

Building Area

	Area [m2]
Total Building Area	299.46
Net Conditioned Building Area	299.46
Unconditioned Building Area	0.00

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	4784.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	4842.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	7054.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	4925.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	118.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	676.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.59
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	431.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	22832.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.59

End Uses By Subcategory

	Subcategory	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	General	4784.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	ELECTRIC EQUIPMENT#11#GeneralLights	4842.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	General	7054.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	General	4925.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	General	118.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	General	676.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.59
Humidification	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	General	431.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Normalized Metrics

Utility Use Per Conditioned Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Gasoline Intensity [kWh/m2]	Diesel Intensity [kWh/m2]	Coal Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m2]	Propane Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	16.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	35.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
Other	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	76.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27

Utility Use Per Total Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Gasoline Intensity [kWh/m2]	Diesel Intensity [kWh/m2]	Coal Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m2]	Propane Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	16.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	35.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
Other	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	76.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27

Electric Loads Satisfied

	Electricity [kWh]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	0.000	0.00
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	0.000	0.00
Net Decrease in On-Site Storage	0.000	0.00
Total On-Site Electric Sources	0.000	0.00
Electricity Coming From Utility	22832.979	100.00
Surplus Electricity Going To Utility	0.000	0.00
Net Electricity From Utility	22832.979	100.00
Total On-Site and Utility Electric Sources	22832.979	100.00
Total Electricity End Uses	22832.979	100.00

On-Site Thermal Sources

	Heat [kWh]	Percent Heat [%]
Water-Side Heat Recovery	0.00	0.00
Air to Air Heat Recovery for Cooling	4798.75	97.34
Air to Air Heat Recovery for Heating	131.18	2.66
High-Temperature Geothermal*	0.00	0.00
Solar Water Thermal	0.00	0.00
Solar Air Thermal	0.00	0.00
Total On-Site Thermal Sources	4929.93	100.00

11/12/2023, 19:22

Building 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IWEC Data WMO#=833780 2023-12-11 18:47:36 - Energy...

EXTRACT FAN											TERMICA (01-01:31-12)	
AIR LOOP AHU SUPPLY FAN	Fan:VariableVolume	0.70	600.00	2.69	2307.99	857.14	1.00	1.53	General	WINTER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12)	7/15 00:15:00	

Pumps

	Type	Control	Head [pa]	Water Flow [m3/s]	Electricity Rate [W]	Power Per Water Flow Rate [W-s/m3]	Motor Efficiency [W/W]	End Use Subcategory
CHW LOOP SUPPLY PUMP	Pump:VariableSpeed	Intermittent	20000.00	0.003287	93.63	28490.03	0.90	General
CONDENSER LOOP SUPPLY PUMP	Pump:VariableSpeed	Intermittent	20000.00	0.002861	81.50	28490.03	0.90	General

Service Water Heating

	Type	Storage Volume [m3]	Input [W]	Thermal Efficiency [W/W]	Recovery Efficiency [W/W]	Energy Factor
None						

Report: HVAC Sizing Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2023-12-11 18:47:36

Zone Sensible Cooling

	Calculated Design Load [W]	User Design Load [W]	User Design Load per Area [W/m2]	Calculated Design Air Flow [m3/s]	User Design Air Flow [m3/s]	Design Day Name	Date/Time Of Peak {TIMESTAMP}	Thermostat Setpoint Temperature at Peak Load [C]	Indoor Temperature at Peak Load [C]	Indoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Outdoor Temperature at Peak Load [C]	Outdoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Minimum Outdoor Air Flow Ratio [m3/s]
11	20269.17	23309.54	77.84	2.341	2.693	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00	22.00	21.99	0.00990	33.50	0.00797	0.74

The Design Load is the zone sensible load only. It does not include any system effects or ventilation loads.

Zone Sensible Heating

	Calculated Design Load [W]	User Design Load [W]	User Design Load per Area [W/m2]	Calculated Design Air Flow [m3/s]	User Design Air Flow [m3/s]	Design Day Name	Date/Time Of Peak {TIMESTAMP}	Thermostat Setpoint Temperature at Peak Load [C]	Indoor Temperature at Peak Load [C]	Indoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Outdoor Temperature at Peak Load [C]	Outdoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Minimum Outdoor Air Flow Ratio [m3/s]
11	0.00	0.00	0.00	0.000	0.741	WINTER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12)		0.00	-50.00	0.00400	10.00	0.00868	0.74

The Design Load is the zone sensible load only. It does not include any system effects or ventilation loads.

System Design Air Flow Rates

	Calculated cooling [m3/s]	User cooling [m3/s]	Calculated heating [m3/s]	User heating [m3/s]	Adjusted cooling [m3/s]	Adjusted heating [m3/s]	Adjusted main [m3/s]	Calculated Heating Air Flow Ratio []	User Heating Air Flow Ratio []
AIR LOOP	2.69	2.69	0.74	0.74	2.6927	2.6927	2.6927	1.0000	0.3000

Plant Loop Coincident Design Fluid Flow Rate Adjustments

	Previous Design Volume Flow Rate [m3/s]	Algorithm Volume Flow Rate [m3/s]	Coincident Design Volume Flow Rate [m3/s]	Coincident Size Adjusted	Peak Sizing Period Name	Peak Day into Period {TIMESTAMP}[day]	Peak Hour Of Day {TIMESTAMP}[hr]	Peak Step Start Minute {TIMESTAMP}[min]
None								

Coil Sizing Summary

	Coil Type	HVAC Type	HVAC Name	Coil Final Gross Total Capacity [W]	Coil Final Gross Sensible Capacity [W]	Coil Final Reference Air Volume Flow Rate [m3/s]	Coil Final Reference Plant Fluid Volume Flow Rate [m3/s]	Coil U-value Times Area Value [W/K]	Design Day Name at Sensible Ideal Loads Peak	Date/Time at Sensible Ideal Loads Peak	Design Day Name at Air Flow Ideal Loads Peak	Date/Time at Air Flow Ideal Loads Peak	Coil Total Capacity at Ideal Loads Peak [W]	Coil Sensible Capacity at Ideal Loads Peak [W]	Coil Air Volume Flow Rate at Ideal Loads Peak [m3/s]
AIR LOOP AHU COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	AirLoopHVAC	AIR LOOP	50584.667	-999.000	2.692655	0.00328651	-999.000	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00	50584.67	41830.67	2.692655

Report: **System Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-12-11 18:47:36**

Economizer

	High Limit Shutoff Control	Minimum Outdoor Air [m3/s]	Maximum Outdoor Air [m3/s]	Return Air Temp Limit	Return Air Enthalpy Limit	Outdoor Air Temperature Limit [C]	Outdoor Air Enthalpy Limit [C]
None							

Demand Controlled Ventilation using Controller:MechanicalVentilation

	Controller:MechanicalVentilation Name	Outdoor Air Per Person [m3/s-person]	Outdoor Air Per Area [m3/s-m2]	Outdoor Air Per Zone [m3/s]	Outdoor Air ACH [ach]	Outdoor Air Method	Outdoor Air Schedule Name	Air Distribution Effectiveness in Cooling Mode	Air Distribution Effectiveness in Heating Mode	Air Distribution Effectiveness Schedule Name
None										

Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004

	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]
11	375.50	1078.00	375.50
Facility	375.50	1078.00	375.50

Aggregated over the RunPeriods for Weather

Time Setpoint Not Met

	During Heating [hr]	During Cooling [hr]	During Occupied Heating [hr]	During Occupied Cooling [hr]
11	0.00	0.00	0.00	0.00
Facility	0.00	0.00	0.00	0.00

Aggregated over the RunPeriods for Weather

Report: **Outdoor Air Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-12-11 18:47:36**

Average Outdoor Air During Occupied Hours

	Average Number of Occupants	Nominal Number of Occupants	Zone Volume [m3]	Mechanical Ventilation [ach]	Infiltration [ach]	AFN Infiltration [ach]	Simple Ventilation [ach]
11	92.32	155.72	772.60	3.470	0.683	0.000	0.000

Values shown for a single zone without multipliers

Minimum Outdoor Air During Occupied Hours

	Average Number of Occupants	Nominal Number of Occupants	Zone Volume [m3]	Mechanical Ventilation [ach]	Infiltration [ach]	AFN Infiltration [ach]	Simple Ventilation [ach]
11	92.32	155.72	772.60	3.381	0.018	0.000	0.000

Values shown for a single zone without multipliers

Report: **Object Count Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-12-11 18:47:36**

Surfaces by Class

	Total	Outdoors
Wall	4	4
Floor	1	1
Roof	1	1
Internal Mass	0	0
Building Detached Shading	10	10
Fixed Detached Shading	0	0
Window	2	2
Door	4	4
Glass Door	0	0
Shading	0	0
Overhang	0	0
Fin	0	0
Tubular Daylighting Device Dome	0	0
Tubular Daylighting Device Diffuser	0	0

HVAC

	Count
HVAC Air Loops	1
Conditioned Zones	1

11/12/2023, 19:22

Building 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IWEC Data WMO#=833780 2023-12-11 18:47:36 - Energy...

Unconditioned Zones	0
Supply Plenums	0
Return Plenums	0

Input Fields

	Count
IDF Objects	922
Defaulted Fields	122
Fields with Defaults	2086
Autosized Fields	32
Autosizable Fields	40
Autocalculated Fields	19
Autocalculatable Fields	38

Report: **Energy Meters**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-12-11 18:47:36**

Annual and Peak Values - Electricity

	Electricity Annual Value [kWh]	Electricity Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Electricity Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Electricity:Facility	22833.00	0.00	01-JAN-00:15	25596.16	14-NOV-14:30
Electricity:Building	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
Electricity:Zone:11	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
InteriorLights:Electricity	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
InteriorLights:Electricity:Zone:11	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
ELECTRIC EQUIPMENT #11#GeneralLights:InteriorLights:Electricity	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
InteriorEquipment:Electricity	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
InteriorEquipment:Electricity:Zone:11	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
General:InteriorEquipment:Electricity	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
ElectricityPurchased:Facility	22833.00	0.00	01-JAN-00:15	25596.16	14-NOV-14:30
ElectricityPurchased:Plant	22833.00	0.00	01-JAN-00:15	25596.16	14-NOV-14:30
Cogeneration:ElectricityPurchased	22833.00	0.00	01-JAN-00:15	25596.16	14-NOV-14:30
General:Cogeneration:ElectricityPurchased	22833.00	0.00	01-JAN-00:15	25596.16	14-NOV-14:30
ElectricitySurplusSold:Facility	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
ElectricitySurplusSold:Plant	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Cogeneration:ElectricitySurplusSold	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
General:Cogeneration:ElectricitySurplusSold	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
ElectricityNet:Facility	22833.00	0.00	01-JAN-00:15	25596.16	14-NOV-14:30
ElectricityNet:Plant	22833.00	0.00	01-JAN-00:15	25596.16	14-NOV-14:30
Cogeneration:ElectricityNet	22833.00	0.00	01-JAN-00:15	25596.16	14-NOV-14:30
General:Cogeneration:ElectricityNet	22833.00	0.00	01-JAN-00:15	25596.16	14-NOV-14:30
Electricity:HVAC	5356.64	0.00	01-JAN-00:15	4969.05	02-JAN-07:45
Fans:Electricity	4925.43	0.00	01-JAN-00:15	4569.05	02-JAN-07:45
General:Fans:Electricity	4925.43	0.00	01-JAN-00:15	4569.05	02-JAN-07:45
HeatRecovery:Electricity	431.20	0.00	01-JAN-00:15	400.00	02-JAN-07:45
General:HeatRecovery:Electricity	431.20	0.00	01-JAN-00:15	400.00	02-JAN-07:45
Electricity:Plant	5579.66	0.00	01-JAN-00:15	7884.37	27-MAR-08:45
Cooling:Electricity	4784.56	0.00	01-JAN-00:15	7107.85	27-MAR-08:45
General:Cooling:Electricity	4784.56	0.00	01-JAN-00:15	7107.85	27-MAR-08:45
HeatRejection:Electricity	676.65	0.00	01-JAN-00:15	627.70	02-JAN-08:00
General:HeatRejection:Electricity	676.65	0.00	01-JAN-00:15	627.70	02-JAN-08:00
Pumps:Electricity	118.45	0.00	01-JAN-00:15	148.83	27-MAR-08:45
General:Pumps:Electricity	118.45	0.00	01-JAN-00:15	148.83	27-MAR-08:45

Annual and Peak Values - Natural Gas

	Natural Gas Annual Value [kWh]	Natural Gas Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Natural Gas Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Cooling

	Cooling Annual Value [kWh]	Cooling Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Cooling Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
PlantLoopCoolingDemand:Facility	29001.55	0.00	01-JAN-00:15	43248.15	27-MAR-08:45
PlantLoopCoolingDemand:HVAC	29001.55	0.00	01-JAN-00:15	43248.15	27-MAR-08:45
CoolingCoils:PlantLoopCoolingDemand	29001.55	0.00	01-JAN-00:15	43248.15	27-MAR-08:45

Annual and Peak Values - Water

	Annual Value [m3]	Minimum Value [m3/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [m3/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Water:Facility	81.59	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:45
Water:Plant	81.59	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:45
HeatRejection:Water	81.59	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:45
General:HeatRejection:Water	81.59	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:45
MainsWater:Facility	81.59	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:45
MainsWater:Plant	81.59	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:45
HeatRejection:MainsWater	81.59	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:45
General:HeatRejection:MainsWater	81.59	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:45

Annual and Peak Values - Other by Weight/Mass

	Annual Value [kg]	Minimum Value [kg/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [kg/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Carbon Equivalent:Facility	0.00	0.000	01-JAN-00:15	0.000	01-JAN-00:15
CarbonEquivalentEmissions:Carbon Equivalent	0.00	0.000	01-JAN-00:15	0.000	01-JAN-00:15

Annual and Peak Values - Other Volumetric

	Annual Value [m3]	Minimum Value [m3/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [m3/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Other Liquid/Gas

	Annual Value [L]	Minimum Value [L]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [L]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Other

	Annual Value [kWh]	Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
EnergyTransfer:Facility	113813.31	0.00	01-JAN-00:15	157392.24	27-MAR-08:45
EnergyTransfer:Building	16752.76	0.00	01-JAN-00:15	21068.03	25-SEP-15:30
EnergyTransfer:Zone:11	16752.76	0.00	01-JAN-00:15	21068.03	25-SEP-15:30
Heating:EnergyTransfer	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Heating:EnergyTransfer:Zone:11	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
General:Heating:EnergyTransfer	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Cooling:EnergyTransfer	16752.76	0.00	01-JAN-00:15	21068.03	25-SEP-15:30
Cooling:EnergyTransfer:Zone:11	16752.76	0.00	01-JAN-00:15	21068.03	25-SEP-15:30
General:Cooling:EnergyTransfer	16752.76	0.00	01-JAN-00:15	21068.03	25-SEP-15:30
EnergyTransfer:HVAC	33931.48	0.00	01-JAN-00:15	49688.25	27-MAR-08:45
CoolingCoils:Energy Transfer	29001.55	0.00	01-JAN-00:15	43248.15	27-MAR-08:45
HeatRecoveryForHeating:EnergyTransfer	131.18	0.00	01-JAN-00:15	4334.36	18-JUN-10:00
HeatRecoveryForCooling:EnergyTransfer	4798.76	0.00	01-JAN-00:15	12987.50	25-APR-10:00
EnergyTransfer:Plant	63129.07	0.00	01-JAN-00:15	96147.39	27-MAR-08:45
Chillers:Energy Transfer	29172.25	0.00	01-JAN-00:15	44519.77	27-MAR-08:45
HeatRejection:Energy Transfer	33956.81	0.00	01-JAN-00:15	51627.62	27-MAR-08:45
General:HeatRejection:EnergyTransfer	33956.81	0.00	01-JAN-00:15	51627.62	27-MAR-08:45

Report: **Sensible Heat Gain Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-12-11 18:47:36**

Annual Building Sensible Heat Gain Components

	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [kWh]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [kWh]	HVAC Input Heated Surface Heating [kWh]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [kWh]	People Sensible Heat Addition [kWh]	Lights Sensible Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Addition [kWh]	Window Heat Addition [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Addition [kWh]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Removal [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Removal [kWh]
11	0.000	0.000	0.000	-16752.16	0.000	0.000	8783.211	4842.243	7054.456	951.759	0.000	3449.691	0.122	0.000	-184.22	0.0
Total Facility	0.000	0.000	0.000	-16752.16	0.000	0.000	8783.211	4842.243	7054.456	951.759	0.000	3449.691	0.122	0.000	-184.22	0.0

Peak Cooling Sensible Heat Gain Components

	Time of Peak {TIMESTAMP}	HVAC Zone Eq & Other Sensible	HVAC Zone Eq & Other Sensible	HVAC Terminal Unit Sensible	HVAC Terminal Unit Sensible	HVAC Input Heated Surface	HVAC Input Cooled Surface	People Sensible Heat	Lights Sensible Heat	Equipment Sensible Heat	Window Heat Addition [W]	Interzone Air Transfer Heat	Infiltration Heat Addition [W]	Opaque Surface Conduction and Other	Equipment Sensible Heat	Window Heat Removal	Interzone Air Transfer Heat Removal	

APÊNDICE E - RESULTADOS SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3

11/12/2023, 19:24 Building 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IVEC Data WMO#=833780 2023-11-27 13:42:15 - Energy...

Program Version: EnergyPlus, Version 9.4.0-217a24fc09, YMD=2023.11.27 13:42

[Table of Contents](#)

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: Building

Environment: 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IVEC Data WMO#=833780

Simulation Timestamp: 2023-11-27 13:42:15

Report: Annual Building Utility Performance Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2023-11-27 13:42:15

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	20201.91	67.46	67.46
Net Site Energy	20201.91	67.46	67.46
Total Source Energy	63979.44	213.65	213.65
Net Source Energy	63979.44	213.65	213.65

Site to Source Energy Conversion Factors

	Site=>Source Conversion Factor
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating	3.613
Steam	0.250
Gasoline	1.050
Diesel	1.050
Coal	1.050
Fuel Oil No 1	1.050
Fuel Oil No 2	1.050
Propane	1.050
Other Fuel 1	1.000
Other Fuel 2	1.000

Building Area

	Area [m2]
Total Building Area	299.46
Net Conditioned Building Area	299.46
Unconditioned Building Area	0.00

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	4481.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	4842.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	7054.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	2987.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	118.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	717.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.80
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	20201.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.80

End Uses By Subcategory

	Subcategory	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	General	4481.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	ELECTRIC EQUIPMENT#11#GeneralLights	4842.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	General	7054.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	General	2987.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	General	118.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	General	717.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.80
Humidification	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Normalized Metrics

Utility Use Per Conditioned Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Gasoline Intensity [kWh/m2]	Diesel Intensity [kWh/m2]	Coal Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m2]	Propane Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	16.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	27.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
Other	23.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	67.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27

Utility Use Per Total Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Gasoline Intensity [kWh/m2]	Diesel Intensity [kWh/m2]	Coal Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m2]	Propane Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	16.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	27.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
Other	23.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	67.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27

Electric Loads Satisfied

	Electricity [kWh]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	0.000	0.00
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	0.000	0.00
Net Decrease in On-Site Storage	0.000	0.00
Total On-Site Electric Sources	0.000	0.00
Electricity Coming From Utility	20201.907	100.00
Surplus Electricity Going To Utility	0.000	0.00
Net Electricity From Utility	20201.907	100.00
Total On-Site and Utility Electric Sources	20201.907	100.00
Total Electricity End Uses	20201.907	100.00

On-Site Thermal Sources

	Heat [kWh]	Percent Heat [%]
Water-Side Heat Recovery	0.00	
Air to Air Heat Recovery for Cooling	0.00	
Air to Air Heat Recovery for Heating	0.00	
High-Temperature Geothermal*	0.00	
Solar Water Thermal	0.00	
Solar Air Thermal	0.00	
Total On-Site Thermal Sources	0.00	

11 SINGLE DUCT VAV REHEAT HEATING COIL	Coil:Heating:Electric		29479.62	1.00
--	-----------------------	--	----------	------

Fans

	Type	Total Efficiency [W/W]	Delta Pressure [pa]	Max Air Flow Rate [m3/s]	Rated Electricity Rate [W]	Rated Power Per Max Air Flow Rate [W-s/m3]	Motor Heat In Air Fraction	Fan Energy Index	End Use Subcategory	Design Day Name for Fan Sizing Peak	Date/Time for Fan Sizing Peak
AIR LOOP AHU EXTRACT FAN	Fan:VariableVolume	0.70	600.00	2.67	2286.78	857.14	1.00	1.53	General	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00
AIR LOOP AHU SUPPLY FAN	Fan:VariableVolume	0.70	600.00	2.67	2286.78	857.14	1.00	1.53	General	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00

Pumps

	Type	Control	Head [pa]	Water Flow [m3/s]	Electricity Rate [W]	Power Per Water Flow Rate [W-s/m3]	Motor Efficiency [W/W]	End Use Subcategory
CHW LOOP SUPPLY PUMP	Pump:VariableSpeed	Intermittent	20000.00	0.003495	99.58	28490.03	0.90	General
CONDENSER LOOP SUPPLY PUMP	Pump:VariableSpeed	Intermittent	20000.00	0.003043	86.68	28490.03	0.90	General

Service Water Heating

	Type	Storage Volume [m3]	Input [W]	Thermal Efficiency [W/W]	Recovery Efficiency [W/W]	Energy Factor
None						

Report: HVAC Sizing Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2023-11-27 13:42:15

Zone Sensible Cooling

	Calculated Design Load [W]	User Design Load [W]	User Design Load per Area [W/m2]	Calculated Design Air Flow [m3/s]	User Design Air Flow [m3/s]	Design Day Name	Date/Time Of Peak {TIMESTAMP}	Thermostat Setpoint Temperature at Peak Load [C]	Indoor Temperature at Peak Load [C]	Indoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Outdoor Temperature at Peak Load [C]	Outdoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Minimum Outdoor Air Flow Rate [m3/s]
11	20269.17	23309.54	77.84	2.341	2.693	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00	22.00	21.99	0.00990	33.50	0.00797	0.4

The Design Load is the zone sensible load only. It does not include any system effects or ventilation loads.

Zone Sensible Heating

	Calculated Design Load [W]	User Design Load [W]	User Design Load per Area [W/m2]	Calculated Design Air Flow [m3/s]	User Design Air Flow [m3/s]	Design Day Name	Date/Time Of Peak {TIMESTAMP}	Thermostat Setpoint Temperature at Peak Load [C]	Indoor Temperature at Peak Load [C]	Indoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Outdoor Temperature at Peak Load [C]	Outdoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Minimum Outdoor Air Flow Rate [m3/s]
11	0.00	0.00	0.00	0.000	0.479	WINTER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12)		0.00	-50.00	0.00400	10.00	0.00868	0.47

The Design Load is the zone sensible load only. It does not include any system effects or ventilation loads.

System Design Air Flow Rates

	Calculated cooling [m3/s]	User cooling [m3/s]	Calculated heating [m3/s]	User heating [m3/s]	Adjusted cooling [m3/s]	Adjusted heating [m3/s]	Adjusted main [m3/s]	Calculated Heating Air Flow Ratio []	User Heating Air Flow Ratio []
AIR LOOP		2.67	2.67	0.48	2.6679	0.8078	2.6679	0.3028	0.3000

Plant Loop Coincident Design Fluid Flow Rate Adjustments

	Previous Design Volume Flow Rate [m3/s]	Algorithm Volume Flow Rate [m3/s]	Coincident Design Volume Flow Rate [m3/s]	Coincident Size Adjusted	Peak Sizing Period Name	Peak Day into Period {TIMESTAMP}[day]	Peak Hour Of Day {TIMESTAMP}[hr]	Peak Step Start Minute {TIMESTAMP}[min]
None								

Coil Sizing Summary

	Coil Type	HVAC Type	HVAC Name	Coil Final Gross Total Capacity [W]	Coil Final Gross Sensible Capacity [W]	Coil Final Reference Air Volume	Coil Final Reference Plant Fluid Volume	Coil U-value Times Area	Design Day Name at Sensible	Date/Time at Sensible Ideal	Design Day Name at Air Flow	Date/Time at Air Flow Ideal Loads Peak	Capacity at Ideal Loads

						Flow Rate [m3/s]	Flow Rate [m3/s]	Value [W/K]	Ideal Loads Peak	Loads Peak	Ideal Loads Peak		Pe [
11 SINGLE DUCT VAV REHEAT HEATING COIL	Coil:Heating:Electric	ZONEHVAC:AIRDISTRIBUTIONUNIT	11 SINGLE DUCT VAV REHEAT ADU	29479.619	29479.619	-999.0	-999.0	-999.000	WINTER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12)	7/15 00:15:00	WINTER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12)	7/15 00:15:00	29479
AIR LOOP AHU COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	AirLoopHVAC	AIR LOOP	53799.065	-999.000	2.667913	0.00349536	-999.000	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00	53799

Report: **System Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-11-27 13:42:15**

Economizer

	High Limit Shutoff Control	Minimum Outdoor Air [m3/s]	Maximum Outdoor Air [m3/s]	Return Air Temp Limit	Return Air Enthalpy Limit	Outdoor Air Temperature Limit [C]	Outdoor Air Enthalpy Limit [C]
None							

Demand Controlled Ventilation using Controller:MechanicalVentilation

	Controller:MechanicalVentilation Name	Outdoor Air Per Person [m3/s-person]	Outdoor Air Per Area [m3/s-m2]	Outdoor Air Per Zone [m3/s]	Outdoor Air ACH [ach]	Outdoor Air Method	Outdoor Air Schedule Name	Air Distribution Effectiveness in Cooling Mode	Air Distribution Effectiveness in Heating Mode	Air Distribution Effectiveness Schedule Name
11	AIR LOOP AHU MECHANICAL VENTILATION CONTROLLER	0.002500	0.000300	0.000000	0.000000	Sum	2	1.00	1.00	

Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004

	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]
11	354.25	1078.00	354.25
Facility	354.25	1078.00	354.25

Aggregated over the RunPeriods for Weather

Time Setpoint Not Met

	During Heating [hr]	During Cooling [hr]	During Occupied Heating [hr]	During Occupied Cooling [hr]
11	0.00	0.00	0.00	0.00
Facility	0.00	0.00	0.00	0.00

Aggregated over the RunPeriods for Weather

Report: **Outdoor Air Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-11-27 13:42:15**

Average Outdoor Air During Occupied Hours

	Average Number of Occupants	Nominal Number of Occupants	Zone Volume [m3]	Mechanical Ventilation [ach]	Infiltration [ach]	AFN Infiltration [ach]	Simple Ventilation [ach]
11	92.32	155.72	772.60	2.355	0.689	0.000	0.000

Values shown for a single zone without multipliers

Minimum Outdoor Air During Occupied Hours

	Average Number of Occupants	Nominal Number of Occupants	Zone Volume [m3]	Mechanical Ventilation [ach]	Infiltration [ach]	AFN Infiltration [ach]	Simple Ventilation [ach]
11	92.32	155.72	772.60	0.000	0.014	0.000	0.000

Values shown for a single zone without multipliers

Report: **Object Count Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-11-27 13:42:15**

Surfaces by Class

	Total	Outdoors
Wall	4	4
Floor	1	1
Roof	1	1
Internal Mass	0	0
Building Detached Shading	10	10

11/12/2023, 19:24

Building 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IWEC Data WMO#=833780 2023-11-27 13:42:15 - Energy...

Fixed Detached Shading	0	0
Window	2	2
Door	4	4
Glass Door	0	0
Shading	0	0
Overhang	0	0
Fin	0	0
Tubular Daylighting Device Dome	0	0
Tubular Daylighting Device Diffuser	0	0

HVAC

	Count
HVAC Air Loops	1
Conditioned Zones	1
Unconditioned Zones	0
Supply Plenums	0
Return Plenums	0

Input Fields

	Count
IDF Objects	931
Defaulted Fields	125
Fields with Defaults	2081
Autosized Fields	36
Autosizable Fields	45
Autocalculated Fields	19
Autocalculatable Fields	38

Report: **Energy Meters**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-11-27 13:42:15**

Annual and Peak Values - Electricity

	Electricity Annual Value [kWh]	Electricity Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Electricity Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Electricity:Facility	20201.92	0.00	01-JAN-00:15	27078.70	14-NOV-14:30
Electricity:Building	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
Electricity:Zone:11	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
InteriorLights:Electricity	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
InteriorLights:Electricity:Zone:11	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
ELECTRIC EQUIPMENT #11#GeneralLights:InteriorLights:Electricity	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
InteriorEquipment:Electricity	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
InteriorEquipment:Electricity:Zone:11	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
General:InteriorEquipment:Electricity	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
ElectricityPurchased:Facility	20201.92	0.00	01-JAN-00:15	27078.70	14-NOV-14:30
ElectricityPurchased:Plant	20201.92	0.00	01-JAN-00:15	27078.70	14-NOV-14:30
Cogeneration:ElectricityPurchased	20201.92	0.00	01-JAN-00:15	27078.70	14-NOV-14:30
General:Cogeneration:ElectricityPurchased	20201.92	0.00	01-JAN-00:15	27078.70	14-NOV-14:30
ElectricitySurplusSold:Facility	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
ElectricitySurplusSold:Plant	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Cogeneration:ElectricitySurplusSold	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
General:Cogeneration:ElectricitySurplusSold	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
ElectricityNet:Facility	20201.92	0.00	01-JAN-00:15	27078.70	14-NOV-14:30
ElectricityNet:Plant	20201.92	0.00	01-JAN-00:15	27078.70	14-NOV-14:30
Cogeneration:ElectricityNet	20201.92	0.00	01-JAN-00:15	27078.70	14-NOV-14:30
General:Cogeneration:ElectricityNet	20201.92	0.00	01-JAN-00:15	27078.70	14-NOV-14:30
Electricity:HVAC	2987.88	0.00	01-JAN-00:15	4527.06	30-JAN-10:45
Heating:Electricity	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
General:Heating:Electricity	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Fans:Electricity	2987.88	0.00	01-JAN-00:15	4527.06	30-JAN-10:45
General:Fans:Electricity	2987.88	0.00	01-JAN-00:15	4527.06	30-JAN-10:45
Electricity:Plant	5317.34	0.00	01-JAN-00:15	10050.10	14-NOV-14:30
Cooling:Electricity	4481.26	0.00	01-JAN-00:15	9239.49	14-NOV-14:30
General:Cooling:Electricity	4481.26	0.00	01-JAN-00:15	9239.49	14-NOV-14:30
HeatRejection:Electricity	717.27	0.00	01-JAN-00:15	667.58	02-JAN-08:15

General:HeatRejection:Electricity	717.27	0.00	01-JAN-00:15	667.58	02-JAN-08:15
Pumps:Electricity	118.81	0.00	01-JAN-00:15	145.79	14-NOV-14:15
General:Pumps:Electricity	118.81	0.00	01-JAN-00:15	145.79	14-NOV-14:15

Annual and Peak Values - Natural Gas

	Natural Gas Annual Value [kWh]	Natural Gas Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Natural Gas Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Cooling

	Cooling Annual Value [kWh]	Cooling Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Cooling Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
PlantLoopCoolingDemand:Facility	25356.83	0.00	01-JAN-00:15	52202.87	14-NOV-14:15
PlantLoopCoolingDemand:HVAC	25356.83	0.00	01-JAN-00:15	52202.87	14-NOV-14:15
CoolingCoils:PlantLoopCoolingDemand	25356.83	0.00	01-JAN-00:15	52202.87	14-NOV-14:15

Annual and Peak Values - Water

	Annual Value [m3]	Minimum Value [m3/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [m3/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Water:Facility	80.80	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00
Water:Plant	80.80	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00
HeatRejection:Water	80.80	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00
General:HeatRejection:Water	80.80	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00
MainsWater:Facility	80.80	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00
MainsWater:Plant	80.80	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00
HeatRejection:MainsWater	80.80	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00
General:HeatRejection:MainsWater	80.80	0.00	01-JAN-00:15	0.00	27-AUG-16:00

Annual and Peak Values - Other by Weight/Mass

	Annual Value [kg]	Minimum Value [kg/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [kg/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Carbon Equivalent:Facility	0.00	0.000	01-JAN-00:15	0.000	01-JAN-00:15
CarbonEquivalentEmissions:Carbon Equivalent	0.00	0.000	01-JAN-00:15	0.000	01-JAN-00:15

Annual and Peak Values - Other Volumetric

	Annual Value [m3]	Minimum Value [m3/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [m3/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Other Liquid/Gas

	Annual Value [L]	Minimum Value [L]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [L]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Other

	Annual Value [kWh]	Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
EnergyTransfer:Facility	95198.29	0.00	01-JAN-00:15	187636.09	14-NOV-14:15
EnergyTransfer:Building	14318.78	0.00	01-JAN-00:15	20755.30	25-SEP-15:30
EnergyTransfer:Zone:11	14318.78	0.00	01-JAN-00:15	20755.30	25-SEP-15:30
Heating:EnergyTransfer	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Heating:EnergyTransfer:Zone:11	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
General:Heating:EnergyTransfer	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Cooling:EnergyTransfer	14318.78	0.00	01-JAN-00:15	20755.30	25-SEP-15:30
Cooling:EnergyTransfer:Zone:11	14318.78	0.00	01-JAN-00:15	20755.30	25-SEP-15:30
General:Cooling:EnergyTransfer	14318.78	0.00	01-JAN-00:15	20755.30	25-SEP-15:30
EnergyTransfer:HVAC	25356.83	0.00	01-JAN-00:15	52202.87	14-NOV-14:15
HeatingCoils:EnergyTransfer	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
CoolingCoils:EnergyTransfer	25356.83	0.00	01-JAN-00:15	52202.87	14-NOV-14:15
EnergyTransfer:Plant	55522.68	0.00	01-JAN-00:15	116837.62	14-NOV-14:30
Chillers:EnergyTransfer	25520.71	0.00	01-JAN-00:15	53799.06	14-NOV-14:15
HeatRejection:EnergyTransfer	30001.97	0.00	01-JAN-00:15	63038.56	14-NOV-14:30
General:HeatRejection:EnergyTransfer	30001.97	0.00	01-JAN-00:15	63038.56	14-NOV-14:30

APÊNDICE F - RESULTADOS SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4

11/12/2023, 19:25 Building 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IVEC Data WMO#=833780 2023-11-27 14:22:19 - Energy...

Program Version: EnergyPlus, Version 9.4.0-217a24fc09, YMD=2023.11.27 14:22

[Table of Contents](#)

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: Building

Environment: 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) ** BRASILIA - BRA IVEC Data WMO#=833780

Simulation Timestamp: 2023-11-27 14:22:19

Report: Annual Building Utility Performance Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2023-11-27 14:22:19

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	20287.54	67.75	67.75
Net Site Energy	20287.54	67.75	67.75
Total Source Energy	64250.64	214.56	214.56
Net Source Energy	64250.64	214.56	214.56

Site to Source Energy Conversion Factors

	Site=>Source Conversion Factor
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating	3.613
Steam	0.250
Gasoline	1.050
Diesel	1.050
Coal	1.050
Fuel Oil No 1	1.050
Fuel Oil No 2	1.050
Propane	1.050
Other Fuel 1	1.000
Other Fuel 2	1.000

Building Area

	Area [m2]
Total Building Area	299.46
Net Conditioned Building Area	299.46
Unconditioned Building Area	0.00

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	4244.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	4842.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	7054.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	2987.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	116.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	717.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.93
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	324.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	20287.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.93

End Uses By Subcategory

	Subcategory	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Gasoline [kWh]	Diesel [kWh]	Coal [kWh]	Fuel Oil No 1 [kWh]	Fuel Oil No 2 [kWh]	Propane [kWh]	Other Fuel 1 [kWh]	Other Fuel 2 [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	General	4244.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	ELECTRIC EQUIPMENT#11#GeneralLights	4842.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	General	7054.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	General	2987.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	General	116.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	General	717.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.93
Humidification	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	General	324.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Normalized Metrics

Utility Use Per Conditioned Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Gasoline Intensity [kWh/m2]	Diesel Intensity [kWh/m2]	Coal Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m2]	Propane Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	16.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	26.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
Other	24.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	67.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26

Utility Use Per Total Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Gasoline Intensity [kWh/m2]	Diesel Intensity [kWh/m2]	Coal Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m2]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m2]	Propane Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m2]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	16.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	26.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
Other	24.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	67.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26

Electric Loads Satisfied

	Electricity [kWh]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	0.000	0.00
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	0.000	0.00
Net Decrease in On-Site Storage	0.000	0.00
Total On-Site Electric Sources	0.000	0.00
Electricity Coming From Utility	20287.540	100.00
Surplus Electricity Going To Utility	0.000	0.00
Net Electricity From Utility	20287.540	100.00
Total On-Site and Utility Electric Sources	20287.540	100.00
Total Electricity End Uses	20287.540	100.00

On-Site Thermal Sources

	Heat [kWh]	Percent Heat [%]
Water-Side Heat Recovery	0.00	0.00
Air to Air Heat Recovery for Cooling	1610.03	84.91
Air to Air Heat Recovery for Heating	286.07	15.09
High-Temperature Geothermal*	0.00	0.00
Solar Water Thermal	0.00	0.00
Solar Air Thermal	0.00	0.00
Total On-Site Thermal Sources	1896.10	100.00

Heating Coils

Type	Design Coil Load [W]	Nominal Total Capacity [W]	Nominal Efficiency [W/W]
11 SINGLE DUCT VAV REHEAT HEATING COIL	29479.62		1.00

Fans

Type	Total Efficiency [W/W]	Delta Pressure [pa]	Max Air Flow Rate [m3/s]	Rated Electricity Rate [W]	Rated Power Per Max Air Flow Rate [W-s/m3]	Motor Heat In Air Fraction	Fan Energy Index	End Use Subcategory	Design Day Name for Fan Sizing Peak	Date/Time for Fan Sizing Peak
AIR LOOP AHU EXTRACT FAN	0.70	600.00	2.67	2286.78	857.14	1.00	1.53	General	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00
AIR LOOP AHU SUPPLY FAN	0.70	600.00	2.67	2286.78	857.14	1.00	1.53	General	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00

Pumps

Type	Control	Head [pa]	Water Flow [m3/s]	Electricity Rate [W]	Power Per Water Flow Rate [W-s/m3]	Motor Efficiency [W/W]	End Use Subcategory
CHW LOOP SUPPLY PUMP	Intermittent	20000.00	0.003495	99.58	28490.03	0.90	General
CONDENSER LOOP SUPPLY PUMP	Intermittent	20000.00	0.003043	86.68	28490.03	0.90	General

Service Water Heating

Type	Storage Volume [m3]	Input [W]	Thermal Efficiency [W/W]	Recovery Efficiency [W/W]	Energy Factor
None					

Report: HVAC Sizing Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2023-11-27 14:22:19

Zone Sensible Cooling

Calculated Design Load [W]	User Design Load [W]	User Design Load per Area [W/m2]	Calculated Design Air Flow [m3/s]	User Design Air Flow [m3/s]	Design Day Name	Date/Time Of Peak {TIMESTAMP}	Thermostat Setpoint Temperature at Peak Load [C]	Indoor Temperature at Peak Load [C]	Indoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Outdoor Temperature at Peak Load [C]	Outdoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Minimum Outdoor Air Flow Ratio [m3/s]
20269.17	23309.54	77.84	2.341	2.693	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00	22.00	21.99	0.00990	33.50	0.00797	0.47

The Design Load is the zone sensible load only. It does not include any system effects or ventilation loads.

Zone Sensible Heating

Calculated Design Load [W]	User Design Load [W]	User Design Load per Area [W/m2]	Calculated Design Air Flow [m3/s]	User Design Air Flow [m3/s]	Design Day Name	Date/Time Of Peak {TIMESTAMP}	Thermostat Setpoint Temperature at Peak Load [C]	Indoor Temperature at Peak Load [C]	Indoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Outdoor Temperature at Peak Load [C]	Outdoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Minimum Outdoor Air Flow Ratio [m3/s]
0.00	0.00	0.00	0.000	0.479	WINTER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12)		0.00	-50.00	0.00400	10.00	0.00868	0.47

The Design Load is the zone sensible load only. It does not include any system effects or ventilation loads.

System Design Air Flow Rates

Calculated cooling [m3/s]	User cooling [m3/s]	Calculated heating [m3/s]	User heating [m3/s]	Adjusted cooling [m3/s]	Adjusted heating [m3/s]	Adjusted main [m3/s]	Calculated Heating Air Flow Ratio []	User Heating Air Flow Ratio []
2.67	2.67	0.48	0.48	2.6679	0.8078	2.6679	0.3028	0.3000

Plant Loop Coincident Design Fluid Flow Rate Adjustments

Previous Design Volume Flow Rate [m3/s]	Algorithm Volume Flow Rate [m3/s]	Coincident Design Volume Flow Rate [m3/s]	Coincident Size Adjusted	Peak Sizing Period Name	Peak Day into Period {TIMESTAMP}[day]	Peak Hour Of Day {TIMESTAMP}[hr]	Peak Step Start Minute {TIMESTAMP}[min]
None							

Coil Sizing Summary

	Coil Type	HVAC Type	HVAC Name	Coil Final Gross Total Capacity [W]	Coil Final Gross Sensible Capacity [W]	Coil Final Reference Air Volume Flow Rate [m3/s]	Coil Final Reference Plant Fluid Volume Flow Rate [m3/s]	Coil U-value Times Area Value [W/K]	Design Day Name at Sensible Ideal Loads Peak	Date/Time at Sensible Ideal Loads Peak	Design Day Name at Air Flow Ideal Loads Peak	Date/Time at Air Flow Ideal Loads Peak	Capacity at Ideal Loads [W]
11 SINGLE DUCT VAV REHEAT HEATING COIL	Coil:Heating:Electric	ZONEHVAC:AIRDISTRIBUTIONUNIT	11 SINGLE DUCT VAV REHEAT ADU	29479.619	29479.619	-999.0	-999.0	-999.000	WINTER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12)	7/15 00:15:00	WINTER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12)	7/15 00:15:00	29479
AIR LOOP AHU COOLING COIL	Coil:Cooling:Water	AirLoopHVAC	AIR LOOP	53799.065	-999.000	2.667913	0.00349536	-999.000	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00	SUMMER DESIGN DAY IN 1 - CARGA TERMICA (01-01:31-12) OCT	10/1 15:00:00	53799

Report: **System Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-11-27 14:22:19**

Economizer

	High Limit Shutoff Control	Minimum Outdoor Air [m3/s]	Maximum Outdoor Air [m3/s]	Return Air Temp Limit	Return Air Enthalpy Limit	Outdoor Air Temperature Limit [C]	Outdoor Air Enthalpy Limit [C]
None							

Demand Controlled Ventilation using Controller:MechanicalVentilation

	Controller:MechanicalVentilation Name	Outdoor Air Per Person [m3/s-person]	Outdoor Air Per Area [m3/s-m2]	Outdoor Air Per Zone [m3/s]	Outdoor Air ACH [ach]	Outdoor Air Method	Outdoor Air Schedule Name	Air Distribution Effectiveness in Cooling Mode	Air Distribution Effectiveness in Heating Mode	Air Distribution Effectiveness Schedule Name
11	AIR LOOP AHU MECHANICAL VENTILATION CONTROLLER	0.002500	0.000300	0.000000	0.000000	Sum	2	1.00	1.00	

Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004

	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]
11	346.25	1078.00	346.25
Facility	346.25	1078.00	346.25

Aggregated over the RunPeriods for Weather

Time Setpoint Not Met

	During Heating [hr]	During Cooling [hr]	During Occupied Heating [hr]	During Occupied Cooling [hr]
11	0.00	0.00	0.00	0.00
Facility	0.00	0.00	0.00	0.00

Aggregated over the RunPeriods for Weather

Report: **Outdoor Air Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-11-27 14:22:19**

Average Outdoor Air During Occupied Hours

	Average Number of Occupants	Nominal Number of Occupants	Zone Volume [m3]	Mechanical Ventilation [ach]	Infiltration [ach]	AFN Infiltration [ach]	Simple Ventilation [ach]
11	92.32	155.72	772.60	2.355	0.689	0.000	0.000

Values shown for a single zone without multipliers

Minimum Outdoor Air During Occupied Hours

	Average Number of Occupants	Nominal Number of Occupants	Zone Volume [m3]	Mechanical Ventilation [ach]	Infiltration [ach]	AFN Infiltration [ach]	Simple Ventilation [ach]
11	92.32	155.72	772.60	0.000	0.014	0.000	0.000

Values shown for a single zone without multipliers

Report: **Object Count Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-11-27 14:22:19**

Surfaces by Class

	Total	Outdoors
Wall	4	4
Floor	1	1

Roof	1	1
Internal Mass	0	0
Building Detached Shading	10	10
Fixed Detached Shading	0	0
Window	2	2
Door	4	4
Glass Door	0	0
Shading	0	0
Overhang	0	0
Fin	0	0
Tubular Daylighting Device Dome	0	0
Tubular Daylighting Device Diffuser	0	0

HVAC

	Count
HVAC Air Loops	1
Conditioned Zones	1
Unconditioned Zones	0
Supply Plenums	0
Return Plenums	0

Input Fields

	Count
IDF Objects	932
Defaulted Fields	125
Fields with Defaults	2097
Autosized Fields	37
Autosizable Fields	46
Autocalculated Fields	19
Autocalculatable Fields	38

Report: **Energy Meters**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2023-11-27 14:22:19**

Annual and Peak Values - Electricity

	Electricity Annual Value [kWh]	Electricity Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Electricity Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Electricity:Facility	20287.56	0.00	01-JAN-00:15	25707.00	14-NOV-14:15
Electricity:Building	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
Electricity:Zone:11	11896.70	0.00	01-JAN-00:15	13718.18	02-JAN-14:15
InteriorLights:Electricity	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
InteriorLights:Electricity:Zone:11	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
ELECTRIC EQUIPMENT #11#GeneralLights:InteriorLights:Electricity	4842.24	0.00	01-JAN-00:15	4491.87	02-JAN-07:45
InteriorEquipment:Electricity	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
InteriorEquipment:Electricity:Zone:11	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
General:InteriorEquipment:Electricity	7054.46	0.00	01-JAN-00:15	9226.31	02-JAN-14:15
ElectricityPurchased:Facility	20287.56	0.00	01-JAN-00:15	25707.00	14-NOV-14:15
ElectricityPurchased:Plant	20287.56	0.00	01-JAN-00:15	25707.00	14-NOV-14:15
Cogeneration:ElectricityPurchased	20287.56	0.00	01-JAN-00:15	25707.00	14-NOV-14:15
General:Cogeneration:ElectricityPurchased	20287.56	0.00	01-JAN-00:15	25707.00	14-NOV-14:15
ElectricitySurplusSold:Facility	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
ElectricitySurplusSold:Plant	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Cogeneration:ElectricitySurplusSold	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
General:Cogeneration:ElectricitySurplusSold	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
ElectricityNet:Facility	20287.56	0.00	01-JAN-00:15	25707.00	14-NOV-14:15
ElectricityNet:Plant	20287.56	0.00	01-JAN-00:15	25707.00	14-NOV-14:15
Cogeneration:ElectricityNet	20287.56	0.00	01-JAN-00:15	25707.00	14-NOV-14:15
General:Cogeneration:ElectricityNet	20287.56	0.00	01-JAN-00:15	25707.00	14-NOV-14:15
Electricity:HVAC	3312.41	0.00	01-JAN-00:15	4927.06	30-JAN-10:45
Heating:Electricity	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
General:Heating:Electricity	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Fans:Electricity	2987.50	0.00	01-JAN-00:15	4527.06	30-JAN-10:45
General:Fans:Electricity	2987.50	0.00	01-JAN-00:15	4527.06	30-JAN-10:45
HeatRecovery:Electricity	324.91	0.00	01-JAN-00:15	400.00	02-JAN-09:00

General:HeatRecovery:Electricity	324.91	0.00	01-JAN-00:15	400.00	02-JAN-09:00
Electricity:Plant	5078.45	0.00	01-JAN-00:15	8359.11	14-NOV-14:15
Cooling:Electricity	4244.21	0.00	01-JAN-00:15	7558.38	14-NOV-14:15
General:Cooling:Electricity	4244.21	0.00	01-JAN-00:15	7558.38	14-NOV-14:15
HeatRejection:Electricity	717.52	0.00	01-JAN-00:15	667.58	02-JAN-08:15
General:HeatRejection:Electricity	717.52	0.00	01-JAN-00:15	667.58	02-JAN-08:15
Pumps:Electricity	116.71	0.00	01-JAN-00:15	134.02	14-AUG-15:30
General:Pumps:Electricity	116.71	0.00	01-JAN-00:15	134.02	14-AUG-15:30

Annual and Peak Values - Natural Gas

	Natural Gas Annual Value [kWh]	Natural Gas Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Natural Gas Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Cooling

	Cooling Annual Value [kWh]	Cooling Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Cooling Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
PlantLoopCoolingDemand:Facility	23724.50	0.00	01-JAN-00:15	45011.96	14-NOV-14:15
PlantLoopCoolingDemand:HVAC	23724.50	0.00	01-JAN-00:15	45011.96	14-NOV-14:15
CoolingCoils:PlantLoopCoolingDemand	23724.50	0.00	01-JAN-00:15	45011.96	14-NOV-14:15

Annual and Peak Values - Water

	Annual Value [m3]	Minimum Value [m3/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [m3/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Water:Facility	77.93	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:30
Water:Plant	77.93	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:30
HeatRejection:Water	77.93	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:30
General:HeatRejection:Water	77.93	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:30
MainsWater:Facility	77.93	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:30
MainsWater:Plant	77.93	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:30
HeatRejection:MainsWater	77.93	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:30
General:HeatRejection:MainsWater	77.93	0.00	01-JAN-00:15	0.00	25-SEP-15:30

Annual and Peak Values - Other by Weight/Mass

	Annual Value [kg]	Minimum Value [kg/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [kg/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
Carbon Equivalent:Facility	0.00	0.000	01-JAN-00:15	0.000	01-JAN-00:15
CarbonEquivalentEmissions:Carbon Equivalent	0.00	0.000	01-JAN-00:15	0.000	01-JAN-00:15

Annual and Peak Values - Other Volumetric

	Annual Value [m3]	Minimum Value [m3/s]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [m3/s]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Other Liquid/Gas

	Annual Value [L]	Minimum Value [L]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [L]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
None					

Annual and Peak Values - Other

	Annual Value [kWh]	Minimum Value [W]	Timestamp of Minimum {TIMESTAMP}	Maximum Value [W]	Timestamp of Maximum {TIMESTAMP}
EnergyTransfer:Facility	91929.61	0.00	01-JAN-00:15	168839.56	14-NOV-14:15
EnergyTransfer:Building	14318.90	0.00	01-JAN-00:15	20757.13	25-SEP-15:30
EnergyTransfer:Zone:11	14318.90	0.00	01-JAN-00:15	20757.13	25-SEP-15:30
Heating:EnergyTransfer	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Heating:EnergyTransfer:Zone:11	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
General:Heating:EnergyTransfer	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
Cooling:EnergyTransfer	14318.90	0.00	01-JAN-00:15	20757.13	25-SEP-15:30
Cooling:EnergyTransfer:Zone:11	14318.90	0.00	01-JAN-00:15	20757.13	25-SEP-15:30
General:Cooling:EnergyTransfer	14318.90	0.00	01-JAN-00:15	20757.13	25-SEP-15:30
EnergyTransfer:HVAC	25620.60	0.00	01-JAN-00:15	52223.82	14-NOV-14:15
HeatingCoils:EnergyTransfer	0.00	0.00	01-JAN-00:15	0.00	01-JAN-00:15
CoolingCoils:EnergyTransfer	23724.50	0.00	01-JAN-00:15	45011.96	14-NOV-14:15
HeatRecoveryForHeating:EnergyTransfer	286.07	0.00	01-JAN-00:15	5899.58	18-JUN-10:00
HeatRecoveryForCooling:EnergyTransfer	1610.03	0.00	01-JAN-00:15	8512.20	25-APR-10:00
EnergyTransfer:Plant	51990.12	0.00	01-JAN-00:15	97935.87	14-NOV-14:15
Chillers:EnergyTransfer	23872.95	0.00	01-JAN-00:15	45188.74	14-NOV-14:15

APÊNDICE G - TABELA DE PREÇOS

Tabela 9.1: Descrições dos componentes que integram os sistemas de ar condicionado dos diferentes cenários e seus respectivos valores.

Componente	Descrição	Valor ¹	Referência
ERV (Cenário 2)	Recuperador de calor CRS 150, Sicflux. Vazão Ins. = 630 m ³ /h. Pot Abs. = 450 W.	R\$ 6.971,69 ²	[1]
ERV (Cenário 2 e 3)	Recuperador de calor CRS 355, Sicflux. Vazão Ins. = 2.017 m ³ /h. Pot Abs. = 1850 W. Trifásico - 380 V.	R\$ 9.815,69 ²	[1]
<i>Fan Coil</i> (Cenários 2 e 4)	Condicionador de Ar <i>fan coil</i> - 12,5 TR.	R\$ 14.965,68 ³	[2]
<i>Fan Coil</i> (Cenários 1 e 3)	Condicionador de Ar <i>fan coil</i> - 15 TR.	R\$ 15.969,78 ³	[2]
Inversor de Frequência (Cenário 3)	Inversor de Frequência WEG CFW300 Monofásico. Potência = 2 cv. Tensão = 220 V. Corrente Nominal = 7,3 A.	R\$ 1474,21	[3]
Inversor de Frequência (Cenário 4)	Inversor de Frequência WEG CFW500 Trifásico. Potência = 6 cv. Tensão = 380 V. Corrente Nominal = 10 A.	R\$ 4.068,68	[4]
Sensor de Pressão (Cenários 2 e 4)	ADPS-04-2-n Dwyer Pressostato Diferencial de ar ON/OFF.	R\$ 368,82	[5]
Sensores de Temperatura e Umidade	DHT22; DS18B20 e EXT-RCF-24.	-	Tabela 6.6
Controlador	Carel IR33E99HR20 115/230V	R\$ 1.956,39	[6]
Atuador para <i>Damper</i>	NFBUP - BELIMO - Atuador de <i>Damper</i> 90 in-LB [10 Nm], Retorno por Mola.	R\$ 1499,90	[7]

Componente	Descrição	Valor	Referência
Ventilador - Renovação de ar (Cenário 1)	Ventilador Centrífugo Siroco Monofásico; Vazão = 3000 m ³ /h; Pressão = 60 mmCA.	R\$ 5.80,00	[8]
Ventilador - Renovação de ar (Cenário 3)	Ventilador Centrífugo Siroco Monofásico; Vazão = 3480 m ³ /h; Pressão = 85 mmCA.	R\$ 7.805,00	[9]
Sensor de CO2	Sensor de Qualidade do ar MQ-135. Faixa: 100 - 10.000 ppm. Tensão: 5 V.	R\$ 20,90	[10]

¹Nota: - Os valores estão sujeitos a alterações.

²Nota: - Valor baseado na lista de preço - construção civil (Sicflux, 2022). Corrigido pelo índice IPCA.

³Nota: - Valor baseado na média do preço dos *fan coil* de 12,5 e 15 TR do contrato 202174217127 do Banco do Brasil. Valor corrigido pelo índice IPCA.

Links relacionados aos equipamentos

- [1] <<https://www.scribd.com/document/617460049/sicflux>>
- [2] <https://fornecedor.bb.com.br/#!/contratos-formalizacao/listar/externo?pk_vid=69471c72858489ca168735020302e082>
- [3] <https://www.viewtech.ind.br/inversor-de-frequencia-weg-cfw300-monofasico-2cv-220v-7-3a?gclid=CjwKCAiA98WrBhAYEiWA2WvhOsEDIp80yrmcZWCPbxwXVBA0mmun73K1h8tx7LmGNGoVbu447hm2sBoCjrYQAvD_BwE>
- [4] <<https://www.viewtech.ind.br/inversor-de-frequencia-weg-cfw500-trifasico-5cv-380v-10a-g2-hd>>
- [5] <https://www.rsa-sensors.com.br/produtos/adps-04-2-n-dwyer-pressostato-diferencial-de-ar-on-off-com-range-de-30-a-400pa/?pf=gs&variant=367011379&gclid=CjwKCAiAmsurBhBvEiWA6e-WPDRTdaOI_tao16We_M7W7hJHlKtLLDXrfsoVIM8TxQFL5gFJmLlwlxoC6K0QAvD_BwE>
- [6] <https://jetfrio.com.br/produtos/controlador-digital-carel-ir33e9hr20-115-230v/?variant=672175127&pf=mc&gclid=CjwKCAiAmsurBhBvEiWA6e-WPOBFyGucx_USR25dQyz5SQzY1jhbtd0HF AZztfpAtuLgeZf-yHWKFhoCZM0QAvD_BwE>

- [7] <https://www.rsa-sensors.com.br/produtos/nfbup-belimo-atuador-de-damper-90in-1b-10nm-retorno-por-mola-ac24-240v-dc24-125v-on-off/?pf=gs&variant=382498604&gclid=CjwKCAiAmsurBhBvEiwA6e-WPFJTDgT2K8yfoGPlNMcrAjrZWRQ9hz27_hr3kWmtzzY07k7Dn6PZxoCZFIQAvD_BwE>
- [8] <<https://www.novaexaustores.com.br/exaustores/exaustor-centrifugo-siroco-trifasico-mod-ec3-tn-1-5>>
- [9] <<https://www.novaexaustores.com.br/exaustores/exaustor-centrifugo-siroco-monofasico-mod-ec4-mn-2>>
- [10] <[https://www.eletrogate.com/sensor-de-qualidade-do-ar-mq-135?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=\[MC4\]_\[G\]_\[PMax\]_ArduinoRobotic aSensoresModulos&utm_content=&utm_term=&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAmsurBhBvEiwA6e-WPBF65jWsNXJJyvtvPN11xLzKH4K8JKaAepCeKN8JIW3XH GdAjasw7XxoC6C8QAvD_BwE](https://www.eletrogate.com/sensor-de-qualidade-do-ar-mq-135?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=[MC4]_[G]_[PMax]_ArduinoRobotic aSensoresModulos&utm_content=&utm_term=&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAmsurBhBvEiwA6e-WPBF65jWsNXJJyvtvPN11xLzKH4K8JKaAepCeKN8JIW3XH GdAjasw7XxoC6C8QAvD_BwE)>

APÊNDICE H - PLANILHAS DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Ano	Consumo Elétrico [kW]		Custo Operacional						Gasto Acumulado		
			Insumos			Manutenção	Total				
	Cenário 1	Cenário 2	Tarifa	Cenário 1	Cenário 2	Ambos	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 1	Cenário 2	Diferença
1	11241	10505	R\$ 0,77	R\$ 8.612,85	R\$ 8.048,93	R\$ 18.543,75	R\$ 27.156,60	R\$ 26.592,68	R\$ 48.876,38	R\$ 60.302,13	-R\$ 11.425,75
2	11241	10505	R\$ 0,84	R\$ 9.469,83	R\$ 8.849,80	R\$ 21.598,98	R\$ 31.068,81	R\$ 30.448,78	R\$ 79.945,20	R\$ 90.750,91	-R\$ 10.805,71
3	11241	10505	R\$ 0,93	R\$ 10.412,08	R\$ 9.730,35	R\$ 25.157,58	R\$ 35.569,66	R\$ 34.887,94	R\$ 115.514,86	R\$ 125.638,84	-R\$ 10.123,99
4	11241	10505	R\$ 1,02	R\$ 11.448,08	R\$ 10.698,52	R\$ 29.302,49	R\$ 40.750,57	R\$ 40.001,02	R\$ 156.265,43	R\$ 165.639,86	-R\$ 9.374,43
5	11241	10505	R\$ 1,12	R\$ 12.587,17	R\$ 11.763,03	R\$ 34.130,31	R\$ 46.717,47	R\$ 45.893,33	R\$ 202.982,91	R\$ 211.533,19	-R\$ 8.550,29
6	11241	10505	R\$ 1,23	R\$ 13.839,59	R\$ 12.933,45	R\$ 39.753,54	R\$ 53.593,13	R\$ 52.686,99	R\$ 256.576,04	R\$ 264.220,19	-R\$ 7.644,15
7	11241	10505	R\$ 1,35	R\$ 15.216,63	R\$ 14.220,33	R\$ 46.303,25	R\$ 61.519,88	R\$ 60.523,58	R\$ 318.095,92	R\$ 324.743,77	-R\$ 6.647,84
8	11241	10505	R\$ 1,49	R\$ 16.730,69	R\$ 15.635,25	R\$ 53.932,08	R\$ 70.662,76	R\$ 69.567,33	R\$ 388.758,69	R\$ 394.311,10	-R\$ 5.552,41
9	11241	10505	R\$ 1,64	R\$ 18.395,39	R\$ 17.190,96	R\$ 62.817,81	R\$ 81.213,20	R\$ 80.008,77	R\$ 469.971,89	R\$ 474.319,87	-R\$ 4.347,98
10	11241	10505	R\$ 1,80	R\$ 20.225,73	R\$ 18.901,46	R\$ 73.167,54	R\$ 93.393,27	R\$ 92.069,00	R\$ 563.365,16	R\$ 566.388,87	-R\$ 3.023,71
Investimento Inicial - Solução Proposta						R\$ 33.709,45					

Figura 9.3: Planilha de viabilidade econômica para o cenário 2.

Ano	Consumo Elétrico [kW]		Custo Operacional						Gasto Acumulado		
			Insumos			Manutenção	Total				
	Cenário 1	Cenário 3	Tarifa	Cenário 1	Cenário 3	Ambos	Cenário 1	Cenário 3	Cenário 1	Cenário 3	Diferença
1	11241	8201	R\$ 0,77	R\$ 8.612,85	R\$ 6.283,61	R\$ 18.543,75	R\$ 27.156,60	R\$ 24.827,36	R\$ 48.876,38	R\$ 57.306,38	-R\$ 8.429,99
2	11241	8201	R\$ 0,84	R\$ 9.469,83	R\$ 6.908,83	R\$ 21.598,98	R\$ 31.068,81	R\$ 28.507,80	R\$ 79.945,20	R\$ 85.814,18	-R\$ 5.868,98
3	11241	8201	R\$ 0,93	R\$ 10.412,08	R\$ 7.596,25	R\$ 25.157,58	R\$ 35.569,66	R\$ 32.753,83	R\$ 115.514,86	R\$ 118.568,01	-R\$ 3.053,16
4	11241	8201	R\$ 1,02	R\$ 11.448,08	R\$ 8.352,08	R\$ 29.302,49	R\$ 40.750,57	R\$ 37.654,57	R\$ 156.265,43	R\$ 156.222,58	R\$ 42,85
5	11241	8201	R\$ 1,12	R\$ 12.587,17	R\$ 9.183,11	R\$ 34.130,31	R\$ 46.717,47	R\$ 43.313,42	R\$ 202.982,91	R\$ 199.536,00	R\$ 3.446,90
6	11241	8201	R\$ 1,23	R\$ 13.839,59	R\$ 10.096,83	R\$ 39.753,54	R\$ 53.593,13	R\$ 49.850,37	R\$ 256.576,04	R\$ 249.386,38	R\$ 7.189,66
7	11241	8201	R\$ 1,35	R\$ 15.216,63	R\$ 11.101,47	R\$ 46.303,25	R\$ 61.519,88	R\$ 57.404,72	R\$ 318.095,92	R\$ 306.791,10	R\$ 11.304,83
8	11241	8201	R\$ 1,49	R\$ 16.730,69	R\$ 12.206,06	R\$ 53.932,08	R\$ 70.662,76	R\$ 66.138,14	R\$ 388.758,69	R\$ 372.929,24	R\$ 15.829,45
9	11241	8201	R\$ 1,64	R\$ 18.395,39	R\$ 13.420,57	R\$ 62.817,81	R\$ 81.213,20	R\$ 76.238,38	R\$ 469.971,89	R\$ 449.167,62	R\$ 20.804,27
10	11241	8201	R\$ 1,80	R\$ 20.225,73	R\$ 14.755,91	R\$ 73.167,54	R\$ 93.393,27	R\$ 87.923,45	R\$ 563.365,16	R\$ 537.091,07	R\$ 26.274,09
Investimento Inicial - Solução Proposta						R\$ 32.479,02					

Figura 9.4: Planilha de viabilidade econômica para o cenário 2.

Ano	Consumo Elétrico [kW]		Custo Operacional						Gasto Acumulado		
			Insumos			Manutenção	Total				
	Cenário 1	Cenário 4	Tarifa	Cenário 1	Cenário 4	Ambos	Cenário 1	Cenário 4	Cenário 1	Cenário 4	Diferença
1	11241	8066	R\$ 0,77	R\$ 8.612,85	R\$ 6.180,17	R\$ 18.543,75	R\$ 27.156,60	R\$ 24.723,92	R\$ 48.876,38	R\$ 71.769,69	-R\$ 22.893,31
2	11241	8066	R\$ 0,84	R\$ 9.469,83	R\$ 6.795,10	R\$ 21.598,98	R\$ 31.068,81	R\$ 28.394,07	R\$ 79.945,20	R\$ 100.163,76	-R\$ 20.218,57
3	11241	8066	R\$ 0,93	R\$ 10.412,08	R\$ 7.471,21	R\$ 25.157,58	R\$ 35.569,66	R\$ 32.628,79	R\$ 115.514,86	R\$ 132.792,55	-R\$ 17.277,69
4	11241	8066	R\$ 1,02	R\$ 11.448,08	R\$ 8.214,59	R\$ 29.302,49	R\$ 40.750,57	R\$ 37.517,08	R\$ 156.265,43	R\$ 170.309,64	-R\$ 14.044,20
5	11241	8066	R\$ 1,12	R\$ 12.587,17	R\$ 9.031,95	R\$ 34.130,31	R\$ 46.717,47	R\$ 43.162,25	R\$ 202.982,91	R\$ 213.471,89	-R\$ 10.488,98
6	11241	8066	R\$ 1,23	R\$ 13.839,59	R\$ 9.930,62	R\$ 39.753,54	R\$ 53.593,13	R\$ 49.684,17	R\$ 256.576,04	R\$ 263.156,06	-R\$ 6.580,01
7	11241	8066	R\$ 1,35	R\$ 15.216,63	R\$ 10.918,72	R\$ 46.303,25	R\$ 61.519,88	R\$ 57.221,97	R\$ 318.095,92	R\$ 320.378,03	-R\$ 2.282,10
8	11241	8066	R\$ 1,49	R\$ 16.730,69	R\$ 12.005,13	R\$ 53.932,08	R\$ 70.662,76	R\$ 65.937,21	R\$ 388.758,69	R\$ 386.315,24	R\$ 2.443,45
9	11241	8066	R\$ 1,64	R\$ 18.395,39	R\$ 13.199,64	R\$ 62.817,81	R\$ 81.213,20	R\$ 76.017,46	R\$ 469.971,89	R\$ 462.332,70	R\$ 7.639,19
10	11241	8066	R\$ 1,80	R\$ 20.225,73	R\$ 14.513,01	R\$ 73.167,54	R\$ 93.393,27	R\$ 87.680,55	R\$ 563.365,16	R\$ 550.013,25	R\$ 13.351,91
Investimento Inicial - Solução Proposta						R\$ 47.045,77					

Figura 9.5: Planilha de viabilidade econômica para o cenário 2.